

**GUÍA PARA EL DISEÑO DE CAPTACION, RECOLECCIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS ORIENTADO A CONJUNTOS
RESIDENCIALES.**

**NOMBRE: BRANDON SEBASTIAN TRUJILLO PARRADO CÓDIGO: 505158
NOMBRE: MARIA PAULA ACEVEDO TIUSABA CÓDIGO: 506558**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTA DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C
2020**

**GUÍA PARA EL DISEÑO DE CAPTACION, RECOLECCIÓN Y
APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS ORIENTADO A CONJUNTOS
RESIDENCIALES.**

**NOMBRE: BRANDON SEBASTIAN TRUJILLO PARRADO CÓDIGO: 505158
NOMBRE: MARIA PAULA ACEVEDO TIUSABA CÓDIGO: 506558**

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**DIRECTOR:
DIEGO ALEJANDRO PULGARÍN MONTOYA
INGENIERO SANITARIO MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTA DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C
2020**



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 17 de noviembre del 2020

Dedico esta tesis a mis padres Lucía y Hernando por su apoyo incondicional en cada momento de mi vida personal y profesional.

A mis hermanos Jorge, Alexander y Karina, por ser un ejemplo a seguir y por motivarme constantemente en mis deseos de superación.

María Paula Acevedo Tiusaba

Este trabajo va dedicado a mis papás Marco Antonio Trujillo, y Martha parrado, junto a mis hermanos Juan Pablo Trujillo, y Nubia Alejandra Trujillo, que me apoyaron incondicionalmente durante todo mi proceso formativo.

También va dedicado a mis tíos, Carlos Javier Parrado, Camilo Parrado, y Adalberto Parrado, quienes me inculcaron el amor por la hidráulica, y por los que me decidí a estudiar Ingeniería Civil.

Brandon Sebastián Trujillo Parrado

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 7 |
| INTRODUCCIÓN | 8 |
| 1. GENERALIDADES..... | 9 |
| 1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 9 |
| 1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN..... | 9 |
| 1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES | 10 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 11 |
| 1.4.1 Objetivo general..... | 11 |
| 1.4.2 Objetivos específicos..... | 11 |
| 2. MARCO DE REFERENCIA..... | 12 |
| 2.1 MARCO TEÓRICO | 12 |
| 2.1.1 Hidráulica de los desagües..... | 12 |
| 2.1.2 Flujo en bajantes..... | 12 |
| 2.1.3 Distribución hidráulica | 13 |
| 2.1.5 Visual Basic..... | 14 |
| 2.2 MARCO CONCEPTUAL | 14 |
| 2.2.1. Precipitación..... | 17 |
| 2.2.2 Tipos de precipitaciones..... | 17 |
| 2.2.3 Presión..... | 17 |
| 2.2.4 Presión estática..... | 17 |
| 2.1.4 Características de los medidores de agua..... | 18 |
| 2.3 MARCO HISTÓRICO..... | 18 |
| 2.4 ESTADO DEL ARTE..... | 20 |
| 2.5 MARCO LEGAL | 21 |
| 3. METODOLOGÍA | 22 |
| 3.1 I-II. REVISIÓN Y SELECCIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA Y ANÁLISIS | 23 |
| 3.2 III. SELECCIÓN DEL LUGAR AL QUE SE LE REALIZA EL DESARROLLO DE LA GUÍA..... | 23 |
| 3.3 IV. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO..... | 24 |
| 3.4 V. ESTUDIO HIDROLÓGICO | 24 |
| 3.4.1 Valores medios de precipitación..... | 26 |
| 3.4.2 Curvas IDF..... | 26 |
| 3.4.2 Cálculo de caudal de lluvia..... | 27 |

| | |
|--|----|
| 3.5 VI. CÁLCULO VOLUMEN DEL TANQUE DE RESERVA | 28 |
| 3.5.1 Estimación de volumen potencial de aguas lluvias. | 28 |
| 3.5.2 Volumen de almacenamiento de aguas lluvias. | 29 |
| 3.5.3 Volumen de agua mínimo. | 29 |
| 3.5.4 Volumen de almacenamiento tanque a instalar. | 31 |
| 3.6 VII CÁLCULO DE ACOMETIDA DE AGUA POTABLE | 32 |
| 3.6.1 Caudal en la acometida. | 33 |
| 3.6.2 Ecuación de continuidad. | 33 |
| 3.6.3 Pérdidas por fricción. | 34 |
| 3.6.4 Pérdida de energía por accesorios. | 35 |
| 3.6.5 Pérdidas en el medidor. | 36 |
| 3.7 DISEÑO DE CAPTACIÓN, RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS..... | 36 |
| 3.7.1 Captación..... | 36 |
| 3.7.2 Recolección. | 37 |
| 3.7.2.1 Dimensionamiento bajantes aguas lluvias. | 37 |
| 3.7.2.2 Dimensionamiento de colectores de aguas lluvias. | 38 |
| 3.7.3 Aprovechamiento. | 42 |
| 3.7.3.1 Distribución hidráulica. | 43 |
| 3.7.3.2 Ruta crítica..... | 44 |
| 3.7.3.3 Estimación de caudales. | 44 |
| 3.7.3.4 Diámetro. | 46 |
| 3.7.3.5 Presiones. | 48 |
| 3.7.3.6 Equipo de bombeo. | 50 |
| 4. RESULTADOS | 54 |
| 5. CONCLUSIONES | 56 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 57 |
| ANEXOS..... | 60 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Corte de una tubería en posición horizontal..... | 12 |
| Figura 2. Comportamiento del flujo en bajantes..... | 12 |
| Figura 3. Mapa conceptual esquema básico para el aprovechamiento del agua lluvia..... | 14 |
| Figura 4. Mapa conceptual alternativas de aprovechamiento | 15 |
| Figura 5. Mapa conceptual válvula..... | 16 |
| Figura 6. Mapa conceptual Clasificación bombas centrífugas | 16 |
| Figura 7. Imagen satelital conjunto Ibari. | 24 |
| Figura 8. Mapa Ubicación conjunto residencial y estaciones pluviométricas ... | 25 |
| Figura 9. Contenido guía..... | 54 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Error en medidores..... | 18 |
| Tabla 2. Marco legal | 21 |
| Tabla 3. Estaciones Pluviométricas cercanas al conjunto residencial Ibari | 25 |
| Tabla 4. Valores para las constantes de región..... | 27 |
| Tabla 5. Coeficientes de impermeabilidad..... | 28 |
| Tabla 6. Dotación para Bogotá | 30 |
| Tabla 7. Dotación según la altura sobre el nivel del mar | 30 |
| Tabla 8. Tiempo de reserva en días | 30 |
| Tabla 9. Dotación según uso | 31 |
| Tabla 10. Dimensiones para rebosaderos de tanques de suministro de agua | 32 |
| Tabla 11. Dimensión de la tubería de lavado para tanques de agua..... | 32 |
| Tabla 12. Propiedades de los fluidos utilizados en instalaciones hidráulicas y sanitarias a 15°C..... | 35 |
| Tabla 13. Rugosidad absoluta para diferentes materiales utilizados en la fabricación de tuberías..... | 35 |
| Tabla 14. Valores de K para diferentes accesorios | 36 |
| Tabla 15. Capacidad máxima en bajantes | 37 |
| Tabla 16. Diámetros internos tubería PVC (PAVCO WAVIN, 2020) (PAVCO, 2020)..... | 39 |
| Tabla 17. Diámetros internos tuberías PVC.P | 39 |
| Tabla 18. Parámetros de diseño de colectores | 40 |
| Tabla 19. Relación hidráulica Q/Q_0 y/d | 42 |
| Tabla 20. Aparatos sanitarios a suministrar por agua lluvia en el ejemplo | 43 |
| Tabla 21. Modelo de válvula Water Hammer Arrestor Watts (WATTS, 2011) .. | 44 |
| Tabla 22. Tamaño de las unidades de fijación según aparatos sanitarios (WATTS, 2011) | 44 |
| Tabla 23. Tabla parcial unidades de consumo (ICONTEC, 2017)..... | 45 |
| Tabla 24. Tabla para la estimación de demanda sistema para sanitarios de fluxómetro (ICONTEC, 2017)..... | 45 |
| Tabla 25. Tabla para la estimación de demanda sistema para sanitarios de tanque (ICONTEC, 2017) | 46 |
| Tabla 26. Diámetros internos tubería de acero inoxidable | 47 |
| Tabla 27. Diámetros para tuberías de PVC.P unidades con sistema principalmente para fluxómetro | 47 |

| | |
|--|----|
| Tabla 28. Diámetros para tuberías de PVC.P unidades con sistema principalmente para sanitarios de tanque | 48 |
| Tabla 29. Criterios de diseño del sistema de distribución de agua capacidad requerida en la tubería de salida para el suministro al aparato | 49 |
| Tabla 30. Tiempo Hidroacumulador según potencia de la bomba..... | 53 |

LISTA DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1. Intensidad Método Sintético | 26 |
| Ecuación 2. método racional..... | 27 |
| Ecuación 3. Promedio ponderado Coeficiente de impermeabilidad..... | 27 |
| Ecuación 4. Potencial de captación de volumen de agua lluvia al año | 28 |
| Ecuación 5. Volumen del tanque de reserva de agua lluvia | 29 |
| Ecuación 6. Caudal en la acometida | 33 |
| Ecuación 7. Continuidad | 33 |
| Ecuación 8. Velocidad a partir de continuidad | 33 |
| Ecuación 9. Pérdidas por fricción | 34 |
| Ecuación 10. Colebrook-White | 34 |
| Ecuación 11. Número de Reynolds | 34 |
| Ecuación 12. fórmula general para la pérdida localizada | 35 |
| Ecuación 13. Pérdida de carga en medidores | 36 |
| Ecuación 14. Capacidad de las bajantes | 37 |
| Ecuación 15. Diámetro teórico bajante aguas lluvias | 38 |
| Ecuación 16. Velocidad Manning..... | 41 |
| Ecuación 17. Radio hidráulico para tubo lleno..... | 41 |
| Ecuación 18. Relación hidráulica Q/Qo | 41 |
| Ecuación 19. Fuerza Tractiva | 42 |
| Ecuación 20. Ecuación de energía. | 48 |
| Ecuación 21. Altura dinámica total..... | 50 |
| Ecuación 22. Altura estática total..... | 50 |
| Ecuación 23. Potencia de la bomba | 51 |
| Ecuación 24. NPSH Disponible | 51 |
| Ecuación 25. Caudal de diseño tanque hidroacumulador..... | 53 |
| Ecuación 26. Velocidad de regulación..... | 53 |
| Ecuación 27. Volumen de tanque hidroacumulador | 53 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| ANEXO 1 GUÍA PARA EL DISEÑO DE CAPTACION, RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS ORIENTADO A CONJUNTOS RESIDENCIALES | 60 |
| ANEXO 2 MODELO GRÁFICO | 61 |
| ANEXO 3 MEMORIA DE CÁLCULO | 62 |
| ANEXO 4 PLANOS DE DISEÑO | 63 |
| ANEXO 5 CATÁLOGOS..... | 64 |
| ANEXO 6 SOFTWARE | 65 |

RESUMEN

Esta investigación abordó el tema del diseño de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias en conjunto residenciales, debido a que se encuentran distintas guías para este sistema en unidades estructurales individuales como colegios, casas o edificios, pero no en varias unidades estructurales como conjuntos residenciales.

El objetivo principal de la investigación fue realizar una guía para el diseño de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias enfocada a conjuntos residenciales. Se planteó una metodología a partir de la revisión bibliográfica con los pasos y ecuaciones para el diseño de los distintos sistemas que se encuentran en un diseño de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias enfocado en conjuntos residenciales.

Como resultado del trabajo investigativo se obtiene una guía para el diseño de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias orientado a conjuntos residenciales, un software para el predimensionamiento de tanque de aguas lluvias, con un manual, memoria de cálculo y planos de un ejemplo.

Palabras claves: Guía de aprovechamiento de aguas lluvias, norma técnica instalaciones hidrosanitarias, norma técnica fontanería, materiales de tubería, diseño hidrosanitario.

INTRODUCCIÓN

“El capital natural es la fuente primaria para el desarrollo social y económico de las naciones”¹. El agua es uno de los principales recursos del capital natural, por lo que es muy importante realizar un adecuado uso de él, y desarrollar alternativas de recolección de aguas lluvias para aprovecharlo al máximo y evitar el desperdicio de agua potable.

Las normas vigentes en Colombia, y distintos documentos guía que varias organizaciones han implementado para desarrollar sistemas de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias delimitan parámetros de la instalación de sistemas en las edificaciones del país.

Aunque estos documentos son base para realizar un diseño; en las normas podemos encontrar dificultades para entender y hacer una correcta aplicación en la instalación de estos sistemas de recolección de aguas lluvias por otro lado las guías encontradas son de aplicación a viviendas de 1 o 2 pisos.

La guía de diseño de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias orientado a conjuntos residenciales, pretende aclarar y facilitar el diseño a una mayor escala orientándola a diseños de estos sistemas en conjuntos residenciales de acuerdo a los parámetros de la normatividad vigente.

La elaboración de la guía de diseño se divide en pasos , principalmente se realiza la selección y análisis de la bibliografía de los documentos apropiados para el desarrollo de la guía incluyendo las normas vigentes para lograr un diseño optimo, la siguiente etapa es realizar la guía de forma muy detallada para que el lector realice una correcta aplicación teniendo como base los parámetros, restricciones alcances, seguido de esto se desarrolla un software o aplicación programado en Visual Basic que permite al diseñador obtener un predimensionamiento del tanque a instalar, por ultimo con la guía y software realizado se procede a desarrollar el ejemplo plasmando planos con ayuda del software Revit, de un diseño de captación recolección de aguas lluvias, orientado a conjuntos residenciales.

¹ (Correa Assmus, 2015)

1. GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El agua es un recurso estratégico para el desarrollo del ser humano y los demás seres vivos², que está siendo explotado y desperdiciado; por lo que se debe buscar la manera de aprovecharlo eficientemente.

“A pesar de la importancia del agua, su uso indiscriminado y no planificado, unido al manejo inadecuado y al insuficiente control de su contaminación, han disminuido ostensiblemente su disponibilidad”.³

El aprovechamiento de agua lluvia, es una práctica poco utilizada en los diseños de instalaciones hidrosanitarias. Al contrario de esto se hacen diseños para evacuar rápidamente el agua de las precipitaciones hacia el alcantarillado público, por lo que se hace necesario obtener una guía de diseño de aprovechamiento de aguas lluvias, para facilitar y masificar la implementación del mismo.

Existen diversas guías metodológicas que especifican el diseño de estos sistemas, pero orientados a unidades individuales, como casas o colegios; pero se encuentra poca información respecto a sistemas de aprovechamiento para múltiples unidades en un conjunto, como ocurre en los conjuntos residenciales, haciendo necesaria la realización de una guía de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias en los mismos, y generando la pregunta.

¿Cómo se diseña un sistema de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias, enfocado en conjuntos residenciales?

1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Actualmente en Colombia se encuentran normas técnicas las cuales se deben considerar para realizar un correcto diseño de instalaciones hidrosanitarias, como la resolución 0330 Reglamento técnico-RAS, el código colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias (NTC 1500), y el RAS 2016 título D Sistemas de recolección y evacuación de agua residuales domésticas y aguas lluvias, aunque existen estas normas se puede evidenciar que en estos documentos no se da importancia ni se incentiva a realizar captación, recolección y a las diferentes alternativas de aprovechamiento de aguas lluvias que se pueden implementar en un proyecto.

Los practicas de recolección y aprovechamiento en Colombia solo han sido implementados en regiones que presentan problemas en el sistema de acueducto para el abastecimiento del agua, la mayoría de estos sistemas de

² (Díaz Pulido, y otros, 2009)

³ (Pérez Carmona, 2019)

captación y aprovechamiento son desarrollados de forma simple lo que ocasiona que se presenta baja calidad del agua para el consumo humano, esto crea la necesidad que en el país se adopten mejores técnicas en la aplicación de los sistemas de recolección, ya que según Ballen ⁴ actualmente son muy empíricos y se hacen sin seguir guías que aunque existen no son de fácil comprensión para el diseñador y/o constructor. Para la captación de aguas lluvias se debe tener en cuenta los aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales que ayudan a contribuir con el desarrollo sostenible haciendo uso racional del consumo de agua potable, teniendo en cuenta que la instalación de sistemas de captación, almacenamiento y distribución de agua lluvia se pueden aplicar para todas las tipologías de edificaciones del territorio colombiano.

“Hace sólo treinta años más del 80 por ciento de los colombianos habitan en casas, situación que ha cambiado con el auge de conjuntos residenciales que prácticamente, son mini municipios o microciudades”.⁵

En la normatividad vigente de los parámetros definidos para el diseño, en algunos casos no presenta claridad lo cual puede ocasionar confusiones para el lector; es por esto que se busca que este documento sirva de guía para realizar un adecuado diseño de captación, recolección y dar alternativas de aprovechamiento de aguas lluvias, de forma teórico-práctico que se dará realizando un ejemplo de un diseño de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias orientado específicamente a un conjunto residencial. Del mismo modo esta guía pretende ser usada de manera educativa, para estudiantes que requieran implementar un diseño de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias en proyectos similares.

1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES

Se realizará un análisis y estudio de la bibliografía existente respecto al aprovechamiento de aguas lluvias, incluyendo normatividad nacional y literatura de hidráulica, con la cual se elaborará una guía para el diseño de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias orientado a conjuntos residenciales.

Se realizará un software en el lenguaje de programación Visual Basic, para el predimensionamiento del volumen del tanque de aguas lluvias, no se explicará el funcionamiento del lenguaje de programación, se entrega el software terminado.

Se desarrollará un ejemplo anexándolo a la guía, con modelo gráfico en el software Revit, se desarrolla el modelo gráfico, sin explicar el funcionamiento del software.

La guía se desarrollará con base a las aguas lluvias aprovechadas, no está en el alcance de la guía el diseño de desagües de aguas lluvias convencional,

⁴ (Ballen Suárez, Galarza García , & Ortiz Mosquera , 2006)

⁵ (EL TIEMPO, 2018)

desagües de agua residuales, suministro de agua fría potable, suministro de agua caliente sanitaria, y en general ninguna especialidad distinta a aguas lluvias aprovechadas.

Las limitaciones que se pueden presentar al desarrollar el proyecto, es la obtención de planos arquitectónicos, planos topográficos, y datos hidrológicos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general.

- Realizar una guía para el diseño de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias enfocada a conjuntos residenciales.

1.4.2 Objetivos específicos.

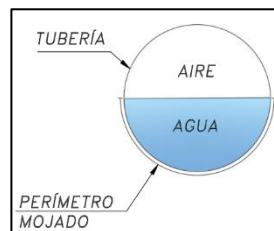
- Analizar la bibliografía y normatividad existente, (NTC 1500, Resolución 0330 de 2017, RAS 2016, NS 038, entre otras), sobre la captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias.
- Elaborar una guía para el diseño de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias enfocado a conjuntos residenciales, con base en la normatividad y los principios hidráulicos de flujo libre y flujo a presión.
- Desarrollar un software en Visual Basic que suministre al diseñador el predimensionamiento del volumen del tanque de almacenamiento a utilizar según las características del proyecto que tenga.
- Plantear un ejemplo del diseño de recolección, captación, y aprovechamiento de aguas lluvias en un conjunto residencial, con modelo gráfico en el software Revit, y memoria de cálculo.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Hidráulica de los desagües. Para el diseño, se recomienda tomar la capacidad del conducto a la mitad de su profundidad, en casos extremos se lleva hasta la capacidad a $\frac{3}{4}$ del diámetro. Según Granados⁶ el cálculo se hace utilizando la fórmula de Manning.

Figura 1. Corte de una tubería en posición horizontal.

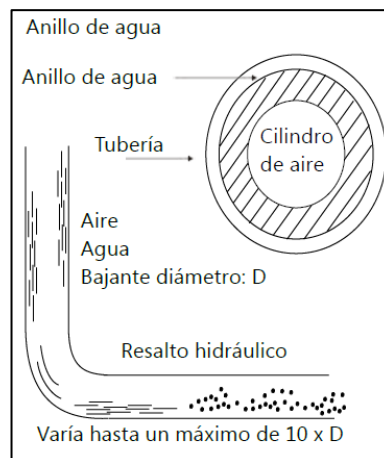


Fuente. Los Autores

2.1.2 Flujo en bajantes. Una bajante es una tubería de desagüe que funciona verticalmente.

“El comportamiento del flujo de bajantes se puede describir así: Para caudales pequeños, el agua baja pegada a la pared interior de la tubería. Con el aumento de caudal, la adherencia continúa hasta un punto donde la fricción con el aire hace formar un pistón de agua que desciende, y luego, cuando el incremento de presión bajo el mismo se rompe, se forma un anillo alrededor de la tubería como un cilindro de aire en el centro”⁷.

Figura 2. Comportamiento del flujo en bajantes



Fuente. (Pérez Carmona, 2019)

⁶ (Granados Robayo, 2002)

⁷ (Granados Robayo, 2002)

2.1.3 Distribución hidráulica. A partir de un plano arquitectónico, se diseña las rutas donde pasarán las tuberías que suministrarán el agua recolectada a los aparatos de las alternativas, el flujo va a presión, y para sus cálculos se tiene en cuenta presiones, velocidades, caudales diámetros de tuberías, material, pérdidas por fricción, pérdidas por accesorios.

Para la tubería a presión se tienen diferentes términos y ecuaciones fundamentales las cuales son:

- Ecuación de continuidad: Según el US Army Engineer⁸, un flujo constante, uniforme o no uniforme, el caudal Q , pasando por cualquier sección debe ser constante. Si A_1 y V_1 representan el área de la sección transversal y la velocidad promedio en una sección 1, y A_2 y V_2 representan las mismas cantidades en una sección 2.
- Ecuación de Bernoulli: La integración de la ecuación de movimiento para dar la ecuación de Bernoulli, en realidad corresponde al principio de energía de trabajo que a menudo se usa en el estudio de la dinámica. Este principio resulta de una integración general de las ecuaciones de movimiento para un objeto siendo un hecho muy similar al flujo de una partícula con ciertos supuestos.

Según Stern⁹, puede escribirse como el trabajo realizado en una partícula por todas las fuerzas que actúan sobre la partícula es igual al cambio de energía cinética de la partícula, siendo la ecuación de Bernoulli una declaración matemática de este principio.

- Pérdidas por fricción:

Según Rodríguez¹⁰ la pérdida de energía por fricción es debida al rozamiento del fluido con las paredes de la tubería, la cual tiene diferentes rugosidades dependiendo del material, para calcular esta pérdida de energía se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach.

El factor de fricción es variable, y depende del número de Reynolds, la rugosidad absoluta de la tubería y la geometría de la misma; existe numerosas ecuaciones para calcularlo, entre las más utilizadas se encuentran.

- Pérdida de energía por accesorios:

Es la pérdida de energía, diferente a la pérdida por fricción, producida en una pequeña región cercana al sitio donde se presenta cambio en la geometría del conducto o cambio en la dirección del flujo.

⁸ (MILITARY HYDROLOGY R & D BRANCH; U.S. ARMY ENGINEER DISTRICT, WASHINGTON, 1957)

⁹ (Stern, 2006)

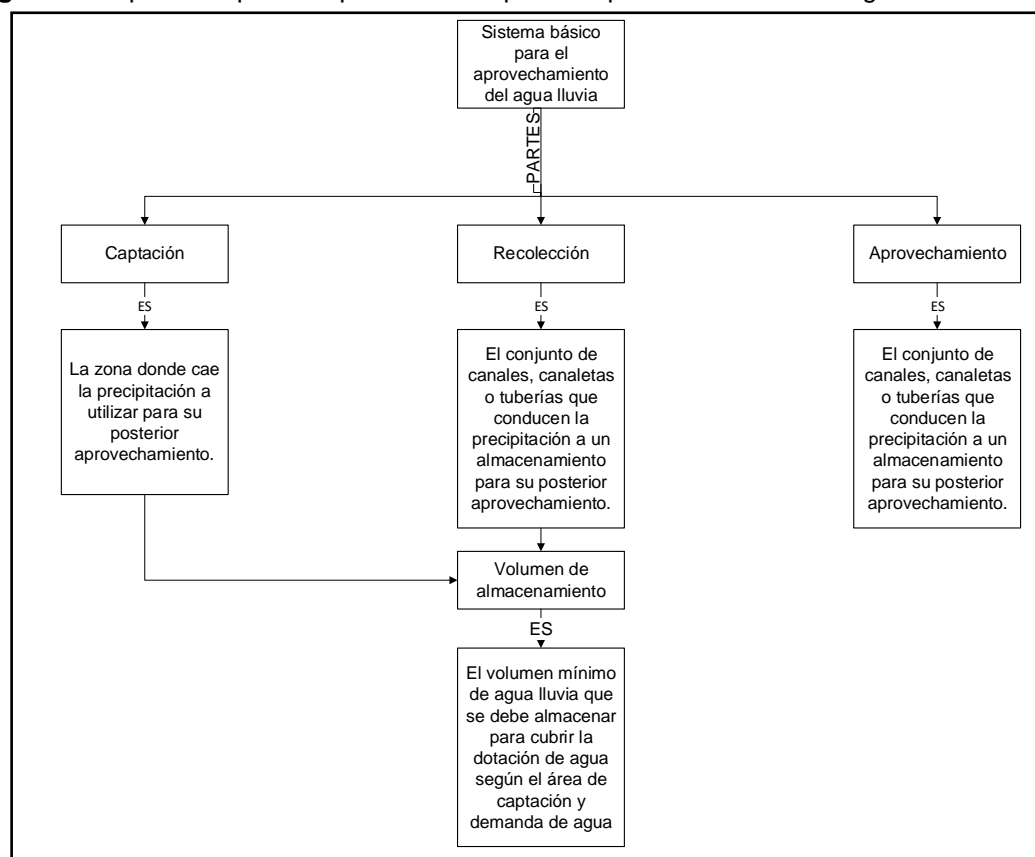
¹⁰ (Rodríguez Díaz, 2005)

2.1.5 Visual Basic. Es un entorno de programación el cual consiste en programar objetos y formularios.

Según Holzner¹¹, el entorno es desarrollado en el sistema operativo Microsoft Windows, y representa uno de los lenguajes de programación más sencillos e intuitivos de utilizar, en el cual se pueden crear programas de diferentes especialidades y con distintos fines, y se puede integrar a MS Excel sin mayor dificultad, ya que el entorno de programación de visual está incluido en él.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

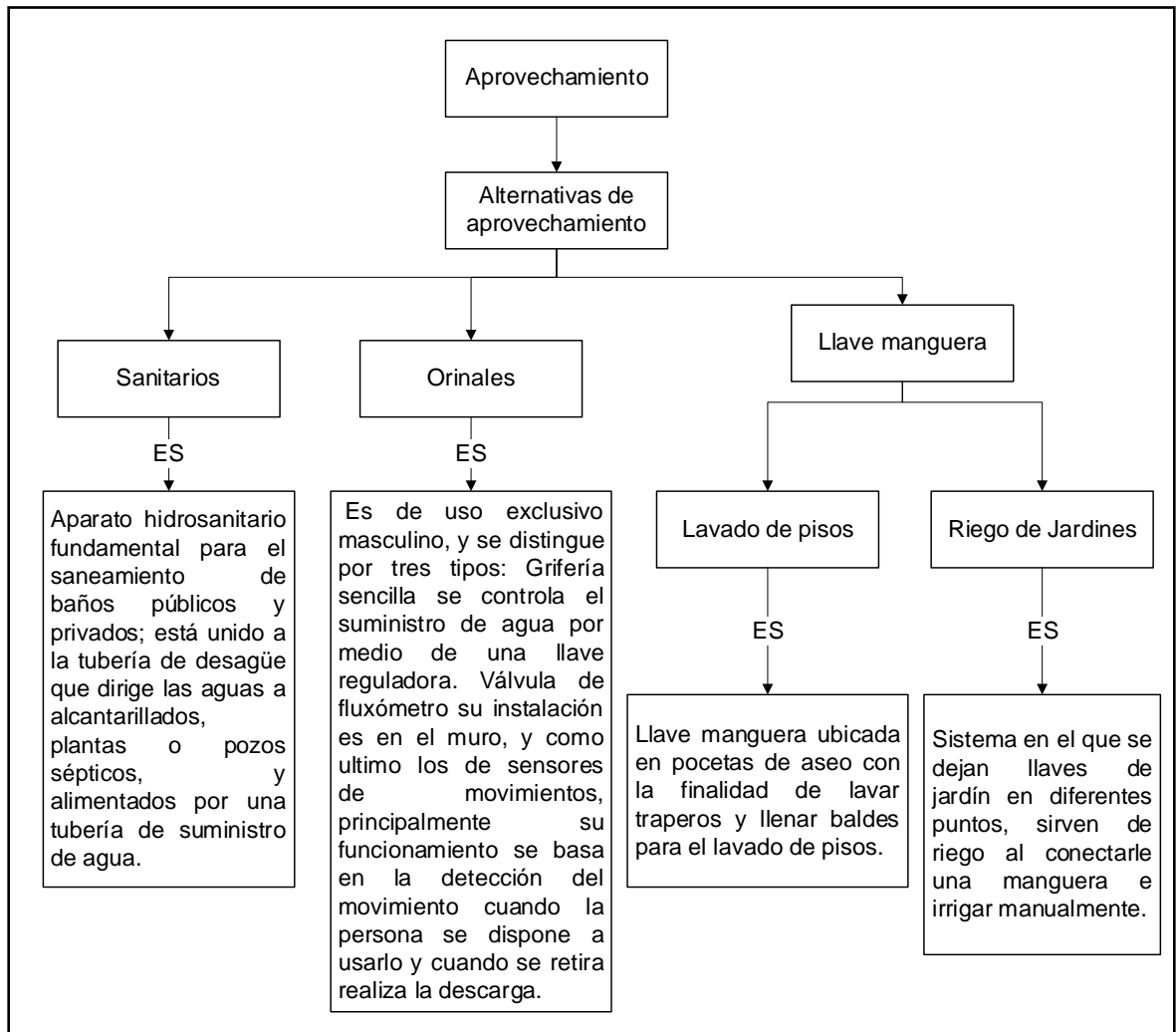
Figura 3. Mapa conceptual esquema básico para el aprovechamiento del agua lluvia



Fuente. (Texas Water Development Board, 2005); (Granados Robayo, 2002)

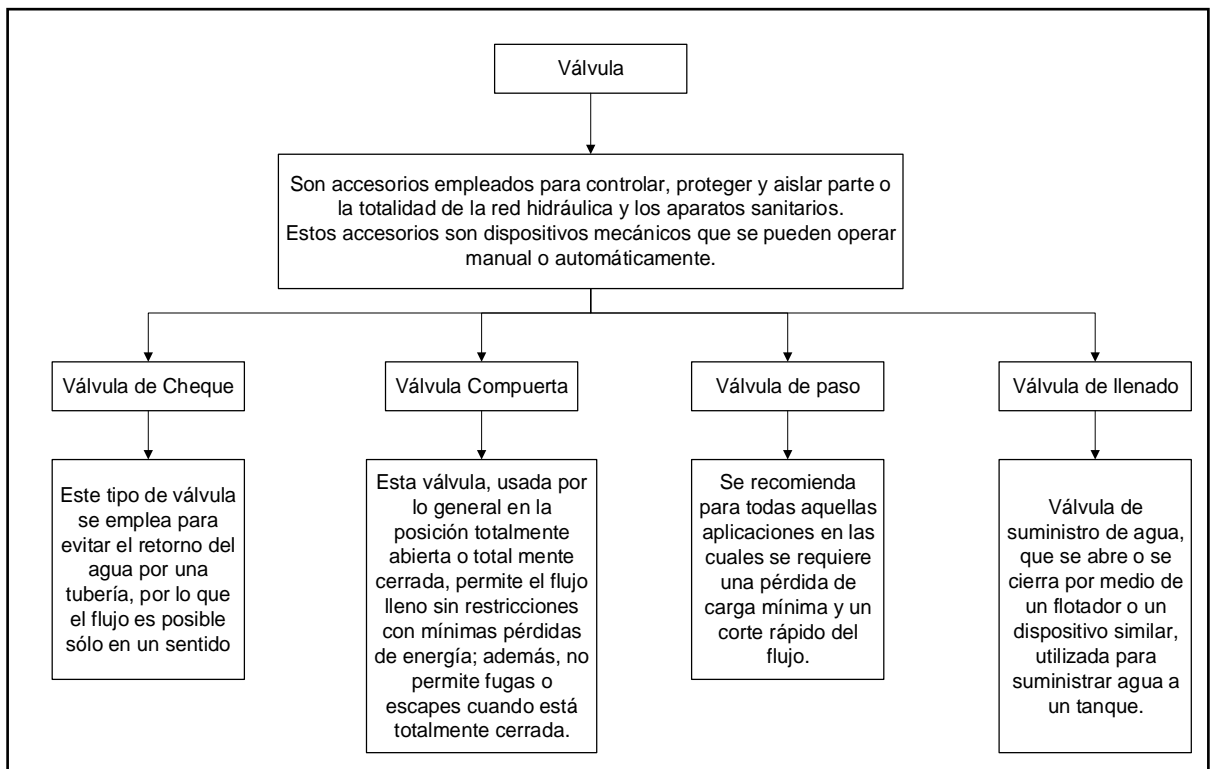
¹¹ (Holzner, 1998)

Figura 4. Mapa conceptual alternativas de aprovechamiento



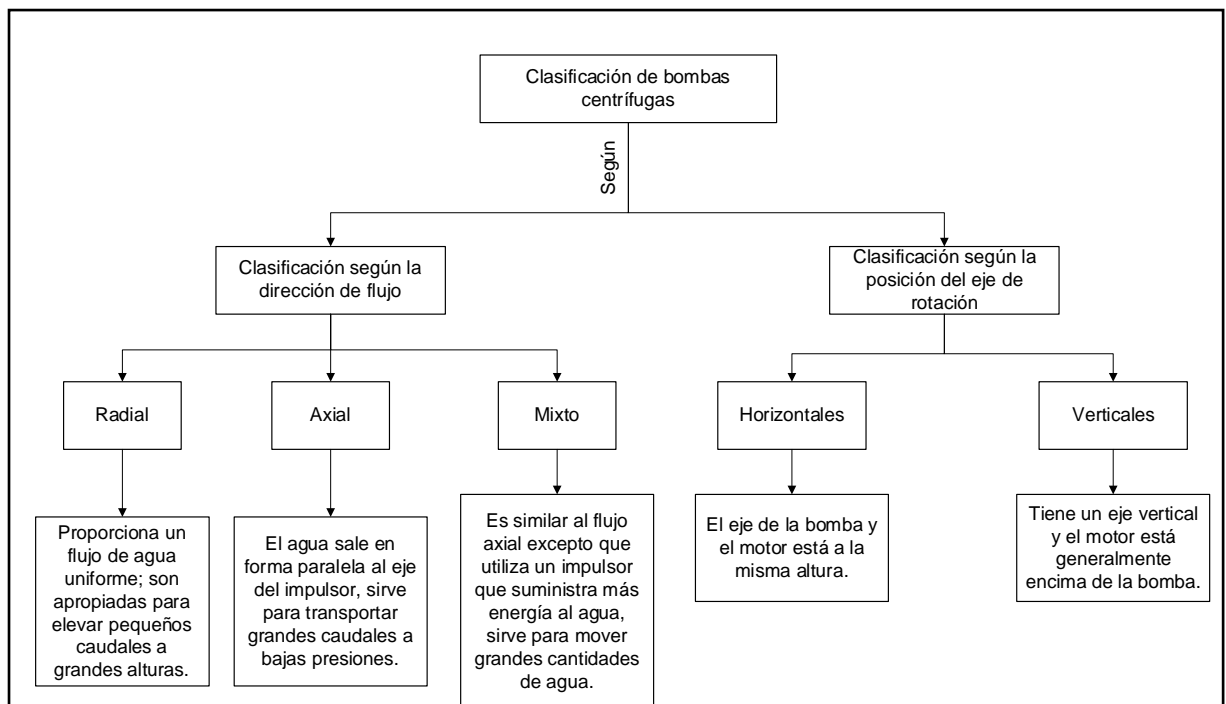
Fuente. (Vermeiren & Jobling, 1980); (Gurovich, 1985)

Figura 5. Mapa conceptual válvula



Fuente. (Rodríguez Díaz, 2005); (ICONTEC, 2017)

Figura 6. Mapa conceptual Clasificación bombas centrífugas



Fuente. (GRUNDFOS)

2.2.1. Precipitación. Son las formas de humedad procedentes de la atmósfera, las diferentes formas de precipitación pueden caer a la superficie terrestre como granizo, rocío, neblina, nieve o helada. La humedad atmosférica, la radiación solar, el mecanismo de enfriamiento del aire y la presencia de núcleos son algunos de los elementos para que se puedan formar las precipitaciones.

2.2.2 Tipos de precipitaciones. Estos tipos se pueden clasificar de acuerdo con las condiciones que producen movimiento vertical de aire como: convectivas, orográficas y de convergencia.

- Precipitaciones convectivas: “Cuando una masa de aire próxima a la superficie del terreno aumenta su temperatura, la densidad disminuye y la masa de aire trata de ascender y de ser reemplazada por otra masa de aire más densa”.¹²
- Precipitaciones orográficas: “Resultan de la ascensión mecánica de corrientes de aire húmedo con movimiento horizontal cuando chocan sobre barreras naturales, tales como montañas”.
- Precipitación por convergencia: “Existen tres tipos: convergencia propiamente dicha, ciclones y frentes, se presenta en el caso en que dos masas de aire de aproximadamente la misma temperatura, que viajan en dirección contraria, se encuentran a un mismo nivel. El ciclón es una masa de aire circular con baja presión que gira en el sentido contrario al de las manecillas del reloj en el hemisferio norte”.¹³

2.2.3 Presión. Aparece por el efecto que se produce cuando se aplica fuerza a la superficie, se expresa en distintos sistemas de unidades, por ejemplo: kilogramo por centímetro cuadrado (kg/cm²), libras por pie cuadrado (psf), libras por pulgadas cuadradas (psi), pascal (pa).

Una columna de agua de un metro de altura ejerce una presión de 0.1 kg/cm², cualquiera que sea el diámetro o sección de la columna.

2.2.4 Presión estática. Es la ejercida en la base de un tubo vertical de descarga cuando el agua se encuentra en reposo. Cualquier líquido que fluye por un tubo origina fricción a medida que el líquido se pone en contacto con las paredes del tubo, esa fricción causa que la velocidad del flujo sea más lenta, esta pérdida de velocidad se puede medir en metros o centímetros.

¹² (Monsalve Sáenz, 1999)

¹³ (Monsalve Sáenz, 1999)

2.1.4 Características de los medidores de agua.

- **Capacidad o gasto nominal:** “Es el flujo de agua que, al pasar por el medidor sufre una pérdida de carga previamente establecida. Por conveniencia se ha tomado una pérdida de carga de 10m en columna de agua”.¹⁴
- **Precisión:** Porcentaje que registra el medidor con relación del volumen de agua que ha presentado por él. La precisión varía con el flujo y se han establecido intervalos para errores permisibles así:

Tabla 1. Error en medidores

| Flujo | Errores medidores volumetricos | Error medidores de velocidad |
|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| De 2% a 5% de capacidad | ± 5% | ± 5% |
| De 5% a 100% de capacidad | ± 2% | ± 3% |

Fuente. (Granados Robayo, 2002)

2.3 MARCO HISTÓRICO

Desde el año 1000 antes de esta era ya se estaban realizando mediciones que permitían conocer la cantidad de agua lluvia que se podía recolectar en determinado lugar, en el escrito atharva-veda (siglos XXII Y X a.C) los hindúes explican la administración del recurso hídrico del siguiente modo: “se deben tomar las acciones necesarias para usar y conservar el agua de la montañas, pozos y ríos”¹⁵. Es así como la civilización comenzó a tener un mejor manejo del recurso y a hacer este reutilizable para las actividades de agricultura y domésticas.

Según la casa romana¹⁶, para los siglos III Y IV a.C en roma comenzaron a construir viviendas denominadas “Domus” las cuales eran características por contar con una captación de agua llamada “impluvium”, cuya utilidad es permitir la salida de humos y la entrada de luz y agua lluvia usado como estanque para recolección.

En Colombia la ley 373 de 1997, establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua, esta ley precisa y regula que en los proyectos de construcción

¹⁴ (Granados Robayo, 2002)

¹⁵ (GUERRERO & SCHIFTER, 2012)

¹⁶ (LA CASA ROMANA , 2020)

se realicen alternativas para recolectar y aprovechar las aguas lluvias, en Colombia esta ley no es tan rigurosa por el desconocimiento de la misma.

En el año 2002 fue construido “el almacén Alkosto Venecia (Bogotá), donde se aprovechan 6.000 m² de cubierta para captar alrededor de 4.820 m³ de agua lluvia al año, con lo cual se satisface el 75% de la demanda actual de agua potable de la edificación”¹⁷.

Según el Grupo Sayros¹⁸, a partir del año 2008 llegó a Colombia la certificación LEED la cual tiene varios tipos de certificación estos son dirigidos hacia el uso que puede tener una edificación, una de estas es el certificado US.Green Building Council, la cual realiza mediciones como la eficiencia del agua; esta categoría busca la reducción en el consumo del agua potable así como fomentar el uso de aguas lluvia y tratadas que pueda ser utilizada tanto al interior como al exterior de un edificio y en las diferentes etapas de construcción del proyecto (Uso sanitario, riego de cubiertas verdes, mezcla para concreto y otros usos).

En el año 2010 Natalia Palacio Castañeda realiza una propuesta la cual denominó “Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de caldas Antioquia”¹⁹, en este trabajo se presenta un sistema de aprovechamiento usando bajos costos y de fácil implementación, una de las alternativas principales es el ahorro de agua potable el cual es la principal limitación del por qué en la zona no se implementaba un sistema de recolección.

Con los datos obtenidos de la precipitación se logró calcular el volumen máximo de almacenamiento con el cual se pudo abastecer todo el sistema sanitario de la institución educativa durante 9 meses del año cumpliendo así con más del 90 % de la demanda usada con el agua recolectada y un 10 % ya debía ser agua potable el cual fue un factor importante de ahorro para la comunidad. Dentro de la metodología usada por el autor, recomienda hacer levantamientos en campo para realizar una cuantificación exacta de las redes de acueducto existentes.

En el año 2011 fue construido el proyecto Centro empresarial y Recreativo El Cubo en la ciudad de Bogotá, este proyecto obtuvo la certificación de edificios sostenibles LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) en el nivel Gold, principalmente esta certificación se debe al manejo que la edificación hace al agua, energía y sostenibilidad. “Los jardines del edificio son regados a partir de un sistema de goteo, y se da la reutilización de agua lluvia, aguas grises y retro lavado del filtro de las piscinas”²⁰.

¹⁷ (Ballen Suaréz, Galarza García , & Ortiz Mosquera , 2006)

¹⁸ (GRUPO SAYROS, 2020)

¹⁹ (Castañeda, 2010)

²⁰ (Revista Semana, 2020)

2.4 ESTADO DEL ARTE

Actualmente las prácticas de recolección de aguas lluvias son muy importantes por la finalidad que estos proyectos tienen solucionando factores económicos y/o sociales para poder implementados en comunidades donde se presenta escases del recurso o buscan ahorrar dinero y realizar un aporte ambiental.

A continuación, se presentan los documentos públicos desarrollados por diferentes organizaciones para el desarrollo de sistemas de recolección de agua lluvia:

En la guía de diseño para la captación de agua lluvia describen varios cálculos relacionados con la captación y almacenamiento del agua lluvia; el autor describe el modelo SCAPT el cual es un sistema de captación de agua pluvial en techos, este modelo concierne unos criterios de diseño el cual describe con fórmulas y por medio ejemplos la correcta implementación del mismo por ejemplo “cálculo del volumen del tanque de almacenamiento”²¹ para el cual se tienen en cuenta los promedios mensuales de precipitación de los últimos 10 a 15 años el área de captación y coeficiente de escorrentía con base en estos datos se determina el volumen máximo de almacenamiento.

Para el caso del “Manual de captación de aguas lluvias para centros urbanos”, los autores del manual pretenden lograr que los lectores del documento se capaciten para realizar un diseño de captación adecuado a partir de instrucciones básicas y fáciles en su comprensión”²². A pesar que el documento es muy completo y abarca conceptos importantes que se deben tener en cuenta, como por ejemplo la importancia de realizar un sistema de captación no es claro y no presentan una guía en forma de ejemplo en el que se implemente un diseño de recolección lo que ocasiona se presenten brechas y limitación en el momento que los lectores pretendan usar de guía el documento.

La cartilla de criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda²³ presenta criterios ambientales importantes que se deben desarrollar teniendo en cuenta la formulación de los criterios ambientales en las diferentes etapas de construcción de un proyecto de vivienda, mencionan la importancia de la utilización del agua y la reutilización de aguas lluvias que se puedan captar, por otra parte en su eje temático del agua se presentan unos criterios de diseño a tener en cuenta para la recolección de agua lluvia.

En el código colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias (NTC 1500)²⁴, se presentan las prácticas del montaje, instalación, el uso o mantenimiento de sistemas hidráulicos y sanitarios; en esta norma se representa el método con valores de carga, en unidades de aparato de suministro de agua (w.s.f.u) el cual

²¹ (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004)

²² (Carmona & Bojalil, 2008)

²³ (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2012)

²⁴ (ICONTEC, 2017)

consiste en identificar la cantidad de aparatos y multiplicarlas por la dotación de cada una para así al final sumar la dotación de todos los aparatos.

2.5 MARCO LEGAL

Se tiene en cuenta las normas nacionales e internas de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá para la realización del diseño de las alternativas.

Tabla 2. Marco legal

| AÑO | PRESENTACIÓN | TÍTULO | OBJETO |
|------|--|---|---|
| 2017 | NTC 1500 | Código Colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias | Presenta las disposiciones aplicables al montaje, la instalación, las reparaciones, la reubicación, el reemplazo, la ampliación, el uso o el mantenimiento de sistemas hidráulicos y sanitarios |
| 2017 | Resolución 0330 de 08 de Junio de 2017 | Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico-RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009 | Reglamenta los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. |
| 2007 | NS-068 | Conexiones Domiciliarias de Alcantarillado | Establece los criterios de diseño, construcción y reconstrucción para desagües de conexiones domiciliarias y cajas de inspección domiciliarias de alcantarillado |
| 2017 | NS-031 | Estudios de población y demanda de agua en sectores específicos de la ciudad | Establece las condiciones básicas de información, procedimientos, parámetros y criterios que se deben tener en cuenta para la elaboración de estudios de población, demanda de agua para el diseño de sistemas de acueducto y/o alcantarillado en sectores específicos de la ciudad, así como para tomar parámetros de referencia para estimación de consumos conforme la normatividad interna y externa vigente. |

Fuente. Los Autores

3. METODOLOGÍA

La metodología se desarrolla describiendo los métodos y procedimientos teóricos de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias, siguiendo una serie de pasos los cuales pueden ser reproducidos en la implementación del sistema en conjuntos residenciales, teniendo en cuenta que estos pasos están delimitados como sucesos antecesores y predecesores es decir con la carencia de alguno de estos pasos no se puede seguir con el desarrollo del proyecto.

- I. Revisión y selección de la bibliografía necesaria para desarrollar la guía de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias orientado a conjuntos residenciales.
- II. Análisis de la bibliografía seleccionada, para tener un dominio y apropiación del tema.
- III. Selección del lugar al que se le realiza el desarrollo de la guía teniendo en cuenta los parámetros de diseño, para desarrollar la captación de aguas lluvias.
- IV. Levantamiento topográfico del proyecto desarrollado como ejemplo para la realización de la guía.
- V. Estudio hidrológico a partir de la obtención de datos en una estación pluviométrica.
- VI. Cálculo de volumen del tanque de reserva (volumen de agua mínima + volumen de agua lluvia).
- VII. Cálculo de acometida de agua potable.
- VIII. Diseño de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias para el conjunto residencial, este contiene memorias técnicas hidrosanitarias, modelo grafico en Revit, planos especificaciones técnicas y cantidades de obra.
- IX. Desarrollo de la guía teniendo como base los parámetros, restricciones, alcances y conceptos adquiridos de la bibliografía analizada en el paso anterior.
- X. Desarrollo de software con las librerías de Visual Studio, y el lenguaje de programación Visual Basic, para permitirle al diseñador obtener un Predimensionamiento del tanque a instalar.

3.1 I-II. REVISIÓN Y SELECCIÓN DE LA BIBLIOGRAFÍA Y ANÁLISIS

Se realiza la revisión de la bibliografía y la selección de los documentos normativos que son necesarios para el desarrollo del diseño de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias, se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

- Para la búsqueda de la bibliografía se tomó en cuenta palabras claves que permitieron encontrar de forma más precisa los temas relacionados. Palabras clave como: captación de aguas lluvias, recolección de aguas lluvias, aprovechamiento de aguas lluvias, flujo libre, flujo a presión, filtro aguas lluvias, fluxómetros, alcantarillado, suministro de agua, equipos de presión, instalaciones hidrosanitarias.
- Que los documentos sean pertinentes para el tema desarrollado.
- Revisar precisamente literatura sobre hidráulica, aguas lluvias y documentos guía que traten con claridad temas relacionados que nos permitieron construir los antecedentes y el marco histórico.
- Ordenar y clasificar la información de la literatura hidráulica, aguas lluvias, normas y especificaciones.
- Seleccionar Normas vigentes que sean aplicadas en diseños de recolección de aguas lluvias.
- Análisis de las limitaciones, prohibiciones, parámetros, y alcances, para desarrollar una guía que permita realizar un buen diseño de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias, orientado a conjuntos residenciales.
- Toda la literatura y normas que se revisó y analizó, está agregada a la bibliografía de este documento.

3.2 III. SELECCIÓN DEL LUGAR AL QUE SE LE REALIZA EL DESARROLLO DE LA GUÍA

Para la selección del sitio se tuvo en cuenta un conjunto residencial con la facilidad de realizar un levantamiento topográfico y arquitectónico, se requieren planos de planta y corte de las unidades arquitectónicas presentes en el proyecto y topografía.

El ejemplo fue basado en las torres del conjunto residencial Ibari, ubicado en Bogotá, en la Carrera 5P BIS # 48 w Sur, barrio Marruecos, localidad 18.

3.3 IV. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para desarrollar el ejemplo, se realizó un levantamiento topográfico y arquitectónico aproximado del Conjunto Residencial Ibari.

- Se realiza un levantamiento superficial del terreno, torres y edificio comunal, a partir de Google Earth y Global Mapper.

Figura 7. Imagen satelital conjunto Ibari.



Fuente: (Google, s.f.)

- Para la arquitectura de las torres se realizó el levantamiento de un piso tipo y primer piso y se replicó en el número de pisos por torre, también se realizó un levantamiento arquitectónico al salón comunal y portería.
- Los planos arquitectónicos contienen planta de primer piso, piso tipo, cubierta y cortes trasversales.

3.4 V. ESTUDIO HIDROLÓGICO

El estudio hidrológico se realiza para dos cosas, primero, el dimensionamiento del tanque, segundo, el cálculo de las tuberías.

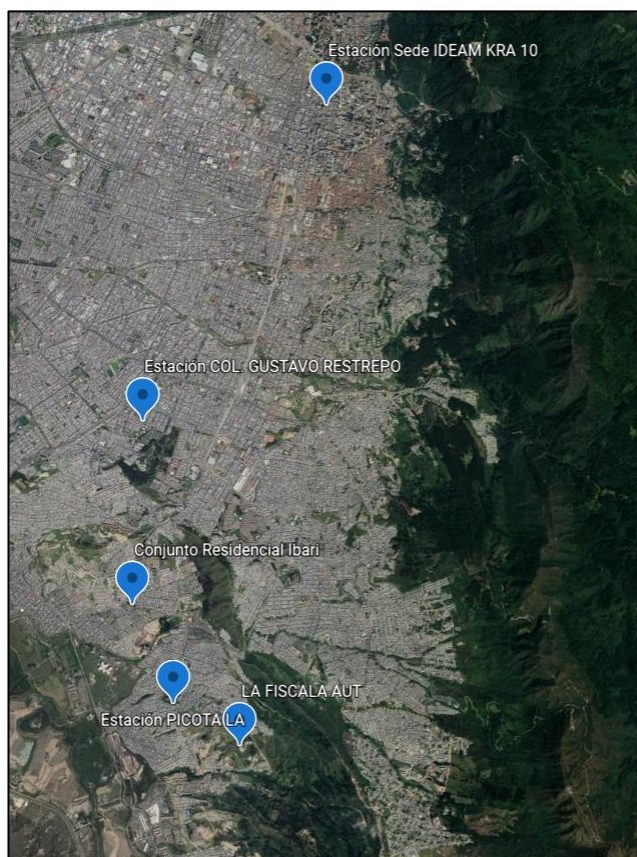
Se debe buscar estaciones pluviométricas cercanas al proyecto, estas pueden ser consultadas en instituciones públicas como la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca), y el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales).

Tabla 3. Estaciones Pluviométricas cercanas al conjunto residencial Ibari

| Entidad | Código estación | Nombre estación | Latitud | Longitud | Elevación | Corriente | Distancia al proyecto |
|---------|-----------------|-----------------------|---------|----------|---------------|-------------|-----------------------|
| CAR | 2120156 | PICTO LA | 4.34 | -74.08 | 2580 m.s.n.m. | R. Tunjuelo | 1.42 Km |
| IDEAM | 21201600 | SEDE IDEAM KRA 10 | 4.36 | -74.04 | 2685 m.s.n.m. | Bogotá | 7.5 Km |
| IDEAM | 2.1E+07 | COL. GUSTAVO RESTREPO | 4.58 | -74.11 | 2576 m.s.n.m. | Bogotá | 2.34 Km |
| IDEAM | 21200107 | LA FISCALA-AUT | 4.54 | -74.11 | 2718 | Bogotá | 2.23 Km |

Fuente. Los Autores

Figura 8. Mapa Ubicación conjunto residencial y estaciones pluviométricas



Fuente: (Google, s.f.)

Se identificó la estación 2120156 PICOTA LA de la CAR como a la estación más cercana al proyecto, por lo tanto, para el estudio hidrológico se utiliza dicha estación.

Los datos de la estación escogida para el estudio, se encuentran en el anexo 3 memoria de cálculo.

3.4.1 Valores medios de precipitación. Para calcular el volumen de aguas lluvias, es necesario conocer los valores medios de precipitación mensual, y valores medios de días de precipitación al mes, los cuales se obtienen sacando una media aritmética de estos valores en cada mes durante los años de toma de datos.

3.4.2 Curvas IDF. Para realizar los cálculos de las tuberías es fundamental tener la intensidad de lluvia en el sector del proyecto; el dato de la intensidad se toma a partir de la curva IDF.

El IDEAM cuenta con algunas curvas ya realizadas, las cuales se pueden solicitar desde su página WEB. También se pueden elaborar a partir de datos de precipitación.

Las curvas IDF se construyen al partir del método sintético presentado por el ingeniero Rodrigo Vargas M., y el ingeniero Mario Diaz Granados O²⁵.

Es un método utilizado en Colombia para la elaboración de curvas IDF, el cual consiste en la siguiente ecuación

Ecuación 1. Intensidad Método Sintético

$$I = \frac{a * T^b * M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c}$$

Donde:

I: Intensidad en mm/h

a: Constante de región adimensional

T: Periodo de retorno en años

b: Constante de región adimensional

M: Precipitación máxima en 24 horas a nivel anual promedio.

d: Constante de región adimensional

t: Duración de la lluvia en minutos.

c: Constante de región adimensional

Ecuación tomada de (Vargas M. & Diaz-Granados O., 1998)

²⁵ (Vargas M. & Diaz-Granados O., 1998)

Tabla 4. Valores para las constantes de región

| REGIÓN | a | b | c | d |
|----------|-------|------|------|------|
| ANDINA | 0.94 | 0.18 | 0.66 | 0.83 |
| CARIBE | 24.85 | 0.22 | 0.5 | 0.1 |
| PACÍFICA | 13.92 | 0.19 | 0.58 | 0.2 |
| ORINOQÍA | 5.53 | 0.17 | 0.63 | 0.42 |
| AMAZONÍA | 2.16 | 0.19 | 0.62 | 0.63 |

Fuente. (Vargas M. & Diaz-Granados O., 1998)

3.4.2 Cálculo de caudal de lluvia para obtener el caudal en un área determinada se utiliza el método racional presentado por Ven Te Chow²⁶; la idea detrás del método es que, si una lluvia con intensidad I empieza en forma instantánea y continúa en forma indefinida, la tasa de escorrentía continuará hasta que se llegue al tiempo de concentración t_c , en el cual toda la cuenca está contribuyendo al flujo en la salida. La ecuación de este método es la siguiente.

Ecuación 2. método racional

$$Q = \frac{C * I * A}{3600}$$

Donde:

Q : Caudal en L/s

C : Coeficiente de impermeabilidad adimensional

I : Intensidad de la lluvia en mm/h

A : Área tributaria en m²

Si el área a drenar tiene más de un material en la superficie, el coeficiente de escorrentía se calcula a partir de un promedio ponderado entre las áreas de los diferentes materiales de la superficie, con sus respectivos valores de C .

Ecuación 3. Promedio ponderado Coeficiente de impermeabilidad

$$C = \frac{(A_1 * C_1) + (A_2 * C_2) + (A_n * C_n)}{(A_1 + A_2 + A_n)}$$

Donde:

C : Coeficiente final de impermeabilidad adimensional

A_1 : Área del material 1 en m²

C_1 : Coeficiente de impermeabilidad del material 1 en m²

²⁶ (Te Chow, MAIDMENT, & MAYS, 1988)

“El coeficiente de impermeabilidad para cada área tributaria se puede tomar del RAS o de la empresa de servicio público responsable del servicio”.²⁷

Tabla 5. Coeficientes de impermeabilidad

| Tipo de superficie | C |
|---|----------|
| Cubiertas | 0.90 |
| Pavimentos asfálticos y superficies de concreto | 0.90 |
| Vías adoquinadas | 0.85 |
| Zonas comerciales o industriales | 0.90 |
| Residencial, con casas contiguas, predominio de zonas duras | 0.75 |
| Residencial multifamiliar, con bloques contiguos y zonas duras entre estos | 0.75 |
| Residencial unifamiliar, con casas contiguas y predominio de jardines | 0.60 |
| Residencial, con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados | 0.45 |
| Residencial, con predominio de zonas verdes y parques-cementerios | 0.30 |
| Laderas sin vegetación | 0.60 |
| Laderas con vegetación | 0.30 |
| Parques recreacionales | 0.30 |

Fuente. (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio., 2016)

3.5 VI. CÁLCULO VOLUMEN DEL TANQUE DE RESERVA

El volumen del tanque de reserva es la suma del volumen de agua lluvia y el volumen mínimo de agua que debe haber para el funcionamiento de los aparatos sanitarios en cualquier tiempo, con cualquier clima.

3.5.1 Estimación de volumen potencial de aguas lluvias. Se realizó a partir de la metodología planteada por el Ingeniero Rafael Pérez Carmona²⁸ la cual consiste en la siguiente ecuación que está dada para estimar el potencial de captación de volumen de agua lluvia al año.

Ecuación 4. Potencial de captación de volumen de agua lluvia al año

$$V = 0.012 \text{ PAC}$$

Donde:

V: Volumen de agua lluvia en un año en m³

P: Pluviosidad media mensual en mm

²⁷ (Pérez Carmona, 2019)

²⁸ (Pérez Carmona, 2019)

A: Área de captación de agua lluvia en m²

C: Coeficiente de escorrentía definido para cada área tributaria

Ecuación tomada de Rafael Pérez Carmona²⁹

3.5.2 Volumen de almacenamiento de aguas lluvias. Se estima de acuerdo a la ecuación planteada por el Ingeniero Rafael Pérez Carmona³⁰ en base a la documentación leed.

Ecuación 5. Volumen del tanque de reserva de agua lluvia

$$V_t = \frac{D}{d} (0.001 PAC)$$

Donde:

V_t : Volumen del tanque de reserva de agua lluvia en m³

D: Número de días de reserva en días.

d: Número de días de lluvia en el mes de mayor precipitación en días.

P: Pluviosidad media mensual en mm

A: Área de captación de agua lluvia en m²

C: Coeficiente de impermeabilidad definido para cada área tributaria

Ecuación tomada de Rafael Pérez Carmona³¹

Según Pérez Carmona ³²El número de días de reserva no debe ser superior a tres (3) días.

3.5.3 Volumen de agua mínimo. Es el volumen necesario para abastecer los aparatos sanitarios proyectados, este volumen viene inicialmente de una acometida de agua potable, y se complementará con las aguas lluvias. Según Pérez Carmona³³ en días muy lluviosos se puede cerrar el registro de la acometida, para que ingrese sólo agua lluvia en el tanque de abastecimiento.

“La capacidad mínima del tanque de reserva debe ser para un consumo de 24 horas”.³⁴

Se presentan distintos consumos para ser utilizados dependiendo el tipo de obra.

En el proyecto de ejemplo, se va a dotar de agua recuperada los sanitarios del salón comunal, llave mangueras para lavado del hall de las torres, y llave mangueras de riego de jardines, por lo que se utiliza la dotación de la **Tabla 9**,

²⁹ (Pérez Carmona, 2019)

³⁰ (Pérez Carmona, 2019)

³¹ (Pérez Carmona, 2019)

³² (Pérez Carmona, 2019)

³³ (Pérez Carmona, 2019)

³⁴ (ICONTEC, 2017)

salas de baile con una dotación de 30L/m², riego de pisos asfaltados 1 L/m², y riego de jardines 2 L/m².

El resto de dotaciones presentadas en este documento se utilizaron para el desarrollo del software de cálculo de volumen de tanque de aguas lluvias aproximado.

Tabla 6. Dotación para Bogotá

| Estrato | Dotación |
|---------|---------------|
| 1 | 110 L/hab-día |
| 2 | 115 L/hab-día |
| 3 | 115 L/hab-día |
| 4 | 150 L/hab-día |
| 5 | 155 L/hab-día |
| 6 | 215 L/hab-día |

Fuente. (EAAB, 2017)

Tabla 7. Dotación según la altura sobre el nivel del mar

| Altura promedio sobre el nivel del mar de la zona atendida | DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA) |
|--|----------------------------------|
| > 2000 m.s.n.m | 120 |
| 1000 - 2000 m.s.n.m | 130 |
| < 1000 m.s.n.m | 140 |

Fuente. (Ministerio de Vivenda, Ciudad y Territorio, 2017)

Tabla 8. Tiempo de reserva en días

| Clase de edificación | Tiempo en días | |
|--|----------------|----------------|
| | Potable Mínimo | Lluvias Máximo |
| Residencial | 1 | 3 |
| Instituciones de salud con hospitalización | 2 | 3 |
| Cuarteles-batallones y estaciones de policía | 3 | 3 |

Fuente. (Pérez Carmona, 2019)

Tabla 9. Dotación según uso

| USO | DOTACIÓN | USO | DOTACIÓN |
|----------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Comercio | 20 L/m ² - min 400l/día | Casinos | 30 L/m ² |
| Restaurantes | 4 L/día | Salas de baile | 30 L/m ² |
| Lavanderías | 48 L/Kg/ropa | Riego piso asfaltado | 1 L/m ² |
| Lavado de carros | 100 L/carro | Riego empredados | 1.5 L/m ² |
| Consultorios médicos | 400 L/consulta/día | Riego Jardines | 2 L/m ² |
| Clinicas dentales | 600 L/unidad | Piscinas | 300 L/bañista |
| Oficinas | 40 L/persona/día | Duchas piscinas | 60 L/bañista |

Fuente. (Pérez Carmona, 2019)

3.5.4 Volumen de almacenamiento tanque a instalar. El volumen del tanque a instalar consiste en la suma del volumen de agua mínimo requerido más el volumen de agua lluvia a recolectar; en tiempo de sequía el volumen de agua mínimo se suministra a partir de una acometida de agua potable. Este volumen debe estar controlado por un flotador de mercurio, que permita el cierre automático de la acometida al momento de alcanzar el volumen mínimo requerido.

La acometida debe tener un medidor que registre el consumo de agua potable, y una válvula de compuerta para interrumpir el flujo de agua manual mente y así aprovechar toda la escorrentía de la lluvia en épocas de lluvia.

La NTC 1500 Código Colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias mencionan parámetros que se deben tener en cuenta para los tanques, los cuales son:

- Todos los tanques deben estar tapados para impedir el acceso a personas no autorizadas, basura y plagas.
- La entrada de agua potable a los tanques de agua se debe controlar mediante una válvula de flotador u otra válvula de suministro automática para impedir el rebosamiento del tanque.
- Cada tanque de agua por gravedad o succión debe ser provisto de un rebosadero con un diámetro no menor que el indicado en la tabla.
- Una tubería con válvula debe ser provista en el punto más bajo de cada tanque para permitir el vaciado del mismo.

Tabla 10. Dimensiones para rebosaderos de tanques de suministro de agua

| Máxima capacidad de la tubería de suministro al tanque de agua L/min | Diámetro del rebosadero (pulgadas) |
|--|------------------------------------|
| 0-189 | 2 |
| 189-568 | 2½ |
| 568-757 | 3 |
| 757-1514 | 4 |
| 1514-2650 | 5 |
| 2650-3785 | 6 |
| Más de 3785 | 8 |

Fuente. (ICONTEC, 2017)

Tabla 11. Dimensión de la tubería de lavado para tanques de agua

| Capacidad del tanque en Litro | Tubería de lavado (pulgadas) |
|-------------------------------|------------------------------|
| Hasta 2839 | 1 |
| 2840 a 5678 | 1½ |
| 5679 a 11355 | 2 |
| 11356 a 18925 | 2½ |
| 18925 a 28388 | 3 |
| Más de 28388 | 4 |

Fuente. (ICONTEC, 2017)

3.6 VII CÁLCULO DE ACOMETIDA DE AGUA POTABLE

Para el cálculo del diámetro en la acometida se tiene en cuenta el tiempo de llenado del tanque, caudal, velocidad y pérdidas.

Según la NTC 1500³⁵ el diámetro mínimo de la tubería de acometida es de ½ pulgada, la velocidad de flujo debe ser controlada para reducir la posibilidad de un golpe de ariete.

Para evitar pérdidas de carga excesivas, se recomienda una velocidad máxima en la acometida de 2.0 m/s.

“La acometida del tanque se debe calcular para un tiempo de llenado no mayor a 12 h”.³⁶

³⁵ (ICONTEC, 2017)

³⁶ (ICONTEC, 2004)

3.6.1 Caudal en la acometida. Este caudal se calcula a partir de la relación entre el volumen de consumo del tanque, y el tiempo de llenado.

Ecuación 6. Caudal en la acometida

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q : Caudal en la acometida l/s

V : Volumen de agua mínimo del tanque de reserva en L

t : Tiempo de llenado del volumen mínimo del tanque de reserva en s

3.6.2 Ecuación de continuidad. Según el U.S. Army Engineer district,³⁷ en un flujo constante, uniforme o no uniforme, el caudal Q , pasando por cualquier sección debe ser constante. Si A_1 y V_1 representan el área de la sección transversal y la velocidad promedio en una sección 1, y A_2 y V_2 representan las mismas cantidades en una sección 2, entonces.

Ecuación 7. Continuidad

$$Q = A_1 * V_1 = A_2 * V_2$$

Donde:

Q : Caudal (m³/s)

A_1 : Área de la sección 1 (m²)

V_1 : Velocidad en la sección 1 (m/s)

A_2 : Área de la sección 2 (m²)

V_2 : Velocidad en la sección 2 (m/s)

De la ecuación de continuidad sale la ecuación para determinar la velocidad.

Ecuación 8. Velocidad a partir de continuidad

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

V : Velocidad en m/s

Q : Caudal en m³/s

A : Área interna de la tubería en m²

³⁷ (MILITARY HYDROLOGY R & D BRANCH; U.S. ARMY ENGINEER DISTRICT, WASHINGTON, 1957)

3.6.3 Pérdidas por fricción. Según Rodríguez³⁸, la pérdida de energía por fricción es debida al rozamiento del fluido con las paredes de la tubería, la cual tiene diferentes rugosidades dependiendo del material, para calcular esta pérdida de energía se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach.

Ecuación 9. Pérdidas por fricción

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h_f : Pérdidas de energía por fricción en m.c.a.

f : Factor de fricción adimensional

L : Longitud del tramo en m

D : Diámetro interno de la tubería en m

v : Velocidad media en m/s

g : Aceleración de la gravedad (9.8 m/s²)

El factor de fricción es variable, y depende del número de Reynolds, la rugosidad absoluta de la tubería y la geometría de la misma; existe numerosas ecuaciones para calcularlo; para el ejemplo se utilizó la ecuación de Colebrook-White.

Ecuación 10. Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \frac{k/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}}$$

Donde:

f : Factor de fricción (adimensional)

k : Rugosidad de la tubería (m)

D : Diámetro interno de la tubería (m)

Re : Número de Reynolds (adimensional)

Ecuación 11. Número de Reynolds

$$NR = \frac{VD}{\nu}$$

Donde:

³⁸ (Rodríguez Díaz, 2005)

NR : Número de Reynolds adimensional.
 V : Velocidad del flujo en m/s.
 D : Diámetro interno de la tubería en m.
 ϑ : Viscosidad del fluido en m²/s.

Tabla 12. Propiedades de los fluidos utilizados en instalaciones hidráulicas y sanitarias a 15°C

| Propiedad | Símbolo | Valor |
|---|----------|----------|
| Densidad (kg/m ³) | ρ | 999.1 |
| Peso específico (N/m ³) | γ | 9798 |
| Viscosidad absoluta (N*s/m ²) | μ | 1.14E-03 |
| Viscosidad cinemática (m ² /s) | ν | 1.14E-06 |

Fuente. (Rodríguez Díaz, 2005)

Tabla 13. Rugosidad absoluta para diferentes materiales utilizados en la fabricación de tuberías

| Material | K_s |
|--------------------|--------|
| VIDRIO | 0.0003 |
| PVC, CPVC | 0.0015 |
| GRP | 0.03 |
| Acero | 0.046 |
| Hierro Forjado | 0.06 |
| Hierro Fundido | 0.12 |
| Hierro Galvanizado | 0.15 |
| Hierro Dúctil | 0.25 |

Fuente. (Saldarriaga Valderrama, 2019)

3.6.4 Pérdida de energía por accesorios. Para este cálculo se utiliza la ecuación general para la pérdida localizada que resulta a partir de la ecuación de energía, o ecuación de Bernoulli.

Ecuación 12. fórmula general para la pérdida localizada

$$h = K * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

h : Pérdida de energía por accesorio m.
 K : Coeficiente adimensional que depende del tipo de accesorio.
 $\frac{V^2}{2g}$: Altura de velocidad, aguas debajo de la zona de alteración del flujo.

Tabla 14. Valores de K para diferentes accesorios

| | Diámetro nominal en pulgadas | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | ½ | ¾ | 1 | 1¼ | 1½ | 2 | 2½ | 3 | 4 | 6 |
| Válvula de compuerta | 0.22 | 0.2 | 0.18 | 0.18 | 0.15 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.12 |
| Válvula de cheque | 2.70 | 2.50 | 2.30 | 2.20 | 2.10 | 1.90 | 1.80 | 1.80 | 1.70 | 1.50 |
| Válvula de pie con coladera | 11.30 | 10.50 | 9.70 | 9.30 | 8.80 | 8.00 | 7.60 | 7.60 | 7.10 | 6.30 |
| Codo 90° estandar | 0.81 | 0.75 | 0.69 | 0.66 | 0.63 | 0.57 | 0.54 | 0.54 | 0.51 | 0.45 |
| Codo 45° estandar | 0.43 | 0.40 | 0.37 | 0.35 | 0.34 | 0.30 | 0.29 | 0.29 | 0.27 | 0.24 |
| Tee paso directo | 0.54 | 0.50 | 0.46 | 0.44 | 0.42 | 0.38 | 0.36 | 0.36 | 0.34 | 0.30 |
| Tee paso lateral | 1.62 | 1.50 | 1.38 | 1.32 | 1.26 | 1.14 | 1.08 | 1.08 | 1.02 | 0.90 |

Fuente. (Westaway & Loomis, 1984)

3.6.5 Pérdidas en el medidor. Una manera simple de calcular las pérdidas en los medidores basada en la metodología descrita por el ingeniero Héctor Rodríguez³⁹, la cual está dada en función de la relación entre el caudal nominal, el caudal de diseño y una máxima pérdida de carga de energía.

Ecuación 13. Pérdida de carga en medidores

$$J = \left(\frac{Q_d}{Q_n} \right)^2 * H$$

Donde:

- J:** Pérdida de carga en m.c.a.
 Q_d : Caudal de diseño en m³/h
 Q_n : Caudal nominal en m³/h
H: Máxima pérdida de carga del medidor en m.c.a.

Se recomienda que las pérdidas de carga en los medidores no superen los 10 m.c.a., si se llegasen a superar, hay que escoger un medidor con diámetro mayor.

Para el ejemplo se seleccionó un medidor tipo gamma-RP-SDC de ø½", su ficha técnica se encuentra en el anexo 5 catálogos.

3.7 DISEÑO DE CAPTACIÓN, RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS.

3.7.1 Captación. La captación se realiza en las cubiertas de las torres y salones comunales, a partir de tragantes, las cuales están conectadas a bajantes, y estas a los colectores que van a dirigir el agua lluvia captada al tanque de almacenamiento.

³⁹ (Rodríguez Díaz, 2005)

Se recomienda no captar para aprovechamiento el agua lluvia de andenes y vías por el alto grado de contaminación que presentan, pero si se ve necesario captar estas aguas lluvias, disponer de una planta de tratamiento de aguas lluvias que elimine las impurezas.

3.7.2 Recolección. Son las tuberías que llevan el agua lluvia captada al tanque de almacenamiento.

3.7.2.1 Dimensionamiento bajantes aguas lluvias. “El caudal que puede transportar una bajante es función de la relación del área del anillo de agua pegado a las paredes con el área total de la sección”⁴⁰, para calcular el caudal transportado por la bajante, se utiliza la siguiente ecuación.

Ecuación 14. Capacidad de las bajantes

$$q = 1.754r^{\frac{5}{3}}d^{\frac{8}{3}}$$

Donde:

q : Capacidad en L/s.

r : Relación de áreas del anillo de agua a la sección de la tubería, adimensional.

d : Diámetro de la bajante en pulgadas.

“La mayoría de los códigos adoptan $r = \frac{1}{4}$ o $\frac{7}{24}$ ”⁴¹

Tabla 15. Capacidad máxima en bajantes

| Diámetro en pulgadas | Caudal en litros por segundo | | |
|-------------------------|------------------------------|------------|-----------|
| | $r = 1/4$ | $r = 7/24$ | $r = 1/3$ |
| 2 | 1.1 | 1.4 | 1.8 |
| 3 | 3.2 | 4.2 | 5.2 |
| 4 | 7 | 9.1 | 11.3 |
| 6 | 20.7 | 26.7 | 33.4 |
| 8 | 44.5 | 57.6 | 71.9 |
| 10 | 80.8 | 104 | 130.4 |
| 12 | 131 | 169.8 | 212 |

Fuente. (Pérez Carmona, 2019)

El caudal que va a fluir por la bajante, se obtiene a partir del método racional con el área tributaria que va a captar cada bajante **Ecuación 2**, por lo que el caudal dejaría de ser una incógnita, y pasaría a ser el diámetro de la bajante.

⁴⁰ (Granados Robayo, 2002)

⁴¹ (Granados Robayo, 2002)

El diámetro teórico de la bajante se determina despejando el diámetro de la ecuación de capacidad de la bajante, generando la siguiente ecuación.

Ecuación 15. Diámetro teórico bajante aguas lluvias

$$d = \left(\frac{q}{1.754r^{5/3}} \right)^{3/8}$$

Donde:

d: Diámetro teórico en pulgadas

q: Caudal en L/s

r: Relación de áreas del anillo de agua a la sección de la tubería, adimensional.

Se recomienda bajantes de aguas lluvias con diámetro mínimo de tres (3) pulgadas, para evitar problemas de taponamiento en la tubería.

3.7.2.2 Dimensionamiento de colectores de aguas lluvias. Los colectores de aguas lluvias, son las tuberías horizontales que transportan el agua lluvia captada hacia su disposición final. Los colectores deben cumplir parámetros de diseño según las normas técnicas colombianas, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

- El diseño del ejemplo presentado se realizó cumpliendo los criterios mencionados en la **Tabla 18**.
- El trazado está completamente dentro del lote residencial.
- Al no estar ubicados los colectores en vías o garajes ni en aceras se asegura un recubrimiento mínimo de 0.30m.
- El caudal transportado por las tuberías se calculó con el método racional **Ecuación 2**.
- El diámetro interno en las torres y edificios comunales van de acuerdo a los cálculos hidráulicos, relación profundidad de flujo vs diámetro interno real, velocidad mínima y fuerza tractiva
- Se asegura un diámetro mínimo de 6 pulgadas en los colectores externos.
- El material proyectado es PVC, cuyo diámetro interno de las tuberías utilizado se encuentra en la **Tabla 16**

Tabla 16. Diámetros internos tubería PVC (PAVCO WAVIN, 2020) (PAVCO, 2020)

| Tipo de tubería | Diámetro nominal (pulg.) | Diámetro interno (mm) | Tipo de tubería | Diámetro nominal (pulg.) | Diámetro interno (mm) |
|-----------------|--------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|
| PVC.S | 1 1/2 | 42.68 | PVC.N | 14 | 327 |
| | 2 | 54.48 | | 16 | 362 |
| | 3 | 76.2 | | 18 | 407 |
| | 4 | 107.7 | | 20 | 452 |
| | 6 | 160.04 | | 24 | 595 |
| PVC.L | 1 1/2 | 45.22 | | 27 | 670 |
| | 2 | 56.76 | | 30 | 747 |
| | 3 | 79 | | 33 | 824 |
| | 4 | 110.08 | | 36 | 900 |
| PVC.N | 8 | 182 | | 39 | 977.6 |
| | 10 | 227 | | 42 | 1054 |
| | 12 | 284 | | 45 | 1127 |

Fuente. (PAVCO, 2020) (PAVCO WAVIN, 2020)

Tabla 17. Diámetros internos tuberías PVC.P

| RDE | DIAMETRO NOMINAL (Pulg.) | DIAMETRO INTERNO (mm) | PRESIÓN DE TRABAJO A 23°C (PSI) |
|------|--------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 9 | 1/2 | 16.6 | 500 |
| 11 | 3/4 | 21.81 | 400 |
| 13.5 | 1/2 | 18.18 | 315 |
| | 1 | 28.48 | |
| | 3/4 | 23.63 | |
| | 1 | 30.2 | |
| | 1 1/4 | 38.14 | |
| 21 | 1 1/2 | 43.68 | 200 |
| | 2 | 54.58 | |
| | 2 1/2 | 66.07 | |
| | 3 | 80.42 | |
| | 4 | 103.42 | |
| | 6 | 152.22 | |
| | 2 | 55.7 | |
| 26 | 2 1/2 | 67.45 | 160 |
| | 3 | 82.04 | |
| | 4 | 105.52 | |
| | 6 | 155.32 | |
| 32.5 | 3 | 83.42 | 125 |
| | 4 | 107.28 | |
| 41 | 4 | 108.72 | 100 |

Fuente. (PAVCO WAVIN, 2020)

- Se diseña una pendiente que permita cumplir los parámetros hidráulicos de velocidad mínima, fuerza tractiva mínima, y relación hidráulica.

Tabla 18. Parámetros de diseño de colectores

| Parametro | Valor | Norma | Numeral |
|--|--|--------------------------------|--------------|
| Trazado | Debe ser por la acera o dentro de los lotes privados. | Resolución 0330 del 2017 | Artículo 146 |
| Profundidad mínima a cota clave para tramos ubicados dentro de los lotes residenciales | 0.30 m | Resolución 0330 del 2017 | Artículo 146 |
| Profundidad mínima a cota clave para tramos ubicados en acera | 0.60 m | Resolución 0330 del 2017 | Artículo 146 |
| Tramo en cruces de vías y en la entrada de garajes | Prever protección estructural o profundidad mínima a cota clave de 1.0 m | Resolución 0330 del 2017 | Artículo 146 |
| Diámetro interno mínimo colectores externos | 145 mm (6") | Resolución 0330 del 2017 | Artículo 146 |
| Relación profundidad de flujo vs diámetro interno real (y/d) | 93% | Resolución 0330 del 2017 | Artículo 151 |
| Velocidad mínima | 0.74 m/s | NTC 1500 Tercera actualización | 12.6.3 |
| Fuerza Tractiva | 0.15 kg/m ² | NTC 1500 Tercera actualización | 12.6.3 |
| Distancia máxima entre puntos de inspección | 30.5m | NTC 1500 Tercera actualización | 8.8.3.1 |
| Diferencia de nivel entre las cotas bateas para requerir cámara de caída | 0.75m | Resolución 0330 del 2017 | Artículo 155 |

Fuente. Los Autores

- Para el cálculo de la velocidad a tubo lleno se utiliza la ecuación de Manning.

Ecuación 16. Velocidad Manning

$$V = \frac{1}{n} Rh^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

V : Velocidad en m/s
 n : Coeficiente de rugosidad, adimensional
 Rh : Radio hidráulico en m
 S : Pendiente en m/m

Ecuación 17. Radio hidráulico para tubo lleno

$$Rh = \frac{A}{P} = \frac{\pi * \frac{D^2}{8}}{\pi * D} = \frac{D}{4}$$

Donde:

Rh : Diámetro hidráulico en m
 A : Área en m²
 D : Diámetro interno de la tubería en m

Según Meadows⁴², para tuberías de PVC el coeficiente de rugosidad de Manning es 0.009.

- El caudal a tubo lleno se calcula con la ecuación de continuidad **Ecuación 7**.
- Para la relación hidráulica y/d , se calcula primero la relación Q/Q_0 y se busca en la tabla de relaciones hidráulicas el valor de y/d ; ya que “matemáticamente se puede demostrar que las relaciones hidráulicas están ligadas. (Pérez Carmona, 2019) Tomando como patrón la relación Q/Q_0 se encuentra las relaciones hidráulicas y/d , V/V_0 , A/A_0 , t/T ”⁴³.

Ecuación 18. Relación hidráulica Q/Q_0

$$Q/Q_0 = \frac{Q}{Q.T.LL}$$

Donde:

Q/Q_0 : Relación hidráulica adimensional
 Q : Caudal de diseño en l/s
 $Q.T.LL$: Caudal a tubo lleno en l/s

⁴² (Meadows, Walski, Barnard, & Rocky, 2002)

⁴³ (Pérez Carmona, 2019)

Tabla 19. Relación hidráulica Q/Q_0 y/d

| Q/Q_0 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.0 | 0.000 | 0.061 | 0.099 | 0.126 | 0.148 | 0.168 | 0.185 | 0.200 | 0.215 | 0.228 |
| 0.1 | 0.241 | 0.253 | 0.264 | 0.275 | 0.286 | 0.296 | 0.306 | 0.316 | 0.325 | 0.334 |
| 0.2 | 0.343 | 0.352 | 0.361 | 0.369 | 0.377 | 0.385 | 0.393 | 0.401 | 0.409 | 0.417 |
| 0.3 | 0.424 | 0.432 | 0.439 | 0.446 | 0.453 | 0.460 | 0.468 | 0.475 | 0.482 | 0.488 |
| 0.4 | 0.495 | 0.502 | 0.509 | 0.516 | 0.522 | 0.529 | 0.535 | 0.542 | 0.549 | 0.555 |
| 0.5 | 0.561 | 0.568 | 0.574 | 0.581 | 0.587 | 0.594 | 0.600 | 0.606 | 0.613 | 0.619 |
| 0.6 | 0.625 | 0.632 | 0.638 | 0.644 | 0.651 | 0.657 | 0.663 | 0.670 | 0.676 | 0.683 |
| 0.7 | 0.689 | 0.695 | 0.702 | 0.709 | 0.715 | 0.721 | 0.728 | 0.735 | 0.741 | 0.748 |
| 0.8 | 0.755 | 0.761 | 0.768 | 0.775 | 0.782 | 0.789 | 0.796 | 0.804 | 0.811 | 0.818 |
| 0.9 | 0.826 | 0.834 | 0.842 | 0.850 | 0.856 | 0.867 | 0.875 | 0.884 | 0.894 | 0.904 |

Fuente. (Pérez Carmona, 2019)

- La fuerza tractiva es el esfuerzo tangencial unitario ejercido por el líquido sobre el colector y, el material en él depositado. “Es la componente tangencial del peso del líquido que se desplaza en un plano inclinado”⁴⁴. Se asegura que la fuerza tractiva en los tramos de los colectores del ejemplo sea mínimo 15 kg/m²

Se calcula con la siguiente ecuación.

Ecuación 19. Fuerza Tractiva

$$T = W * Rh * S$$

Donde:

- T : Fuerza tractiva en Kg/m²
 W : Peso específico del líquido en Kg/m³
 Rh : Radio hidráulico en m
 S : Pendiente del colector en m/m

El agua lluvia recolectada debe tener un tratamiento dependiendo el uso que se le va a dar, ese tratamiento puede ser desde filtros cuando se va a utilizar en sanitarios y riego, hasta plantas de tratamiento de aguas lluvias cuando se va a utilizar para consumo humano.

En el ejemplo se utiliza un filtro tipo GRAF Optimax-XXL, se agrega la ficha técnica en el anexo 5 catálogos.

3.7.3 Aprovechamiento. Se proyecta que el agua lluvia recolectada se aproveche utilizándola para la descarga de las llaves manguera de riego en jardines, llaves manguera de riego de hall en torres, llaves manguera de riego de pisos, sanitarios y orinales en los salones comunales.

⁴⁴ (ICONTEC, 2017)

Tabla 20. Aparatos sanitarios a suministrar por agua lluvia en el ejemplo

| Aparato sanitario | Cantidad (UN) | Marca | Modelo | Presión mínima (PSI) |
|----------------------------|---------------|--------|---------------------|----------------------|
| Sanitario de fluxómetro | 15 | Corona | Taza Báltico | 35 |
| Orinal de fluxómetro | 3 | Corona | Arrecife | 25 |
| LLM. Riego pisos comunales | 2 | Grival | Llave Jardín Pesada | 20 |
| LLM. Riego hall torres | 95 | Grival | Llave Jardín Pesada | 20 |
| LLM. Riego jardines | 17 | Grival | Llave Jardín Pesada | 20 |

Fuente. Los Autores

Las fichas técnicas de los aparatos utilizados, se agregan en el anexo 5 catálogos.

3.7.3.1 Distribución hidráulica. A partir de un plano arquitectónico, se diseña las rutas donde pasarán las tuberías que suministrarán el agua recolectada a los aparatos sanitarios a dotar. El flujo va a presión, y para sus cálculos se tiene en cuenta presiones, velocidades, caudales diámetros de tuberías, material, pérdidas por fricción y pérdidas por accesorios.

Se debe construir una red abierta, dependiendo de la distribución de los aparatos, que satisfaga en sus puntos, caudal y presión requerido para que haya un correcto funcionamiento de los mismos.

“La red debe ser abierta, tomando en cuenta que en general los aparatos sanitarios no funcionan simultáneamente, y, por lo tanto, no se presentan diferencias significativas en la presión entre dos puntos de la red”⁴⁵.

“Se debe instalar un reductor de golpe de ariete donde se utilicen válvulas de cierre rápido”⁴⁶, cuando se utilice reductor hammer arrestor, el dimensionamiento del mismo se debe hacer a partir de lo especificado por el fabricante.

Para el ejemplo, se utilizó una válvula hammer arrestor marca watts, la cual se dimensiona a partir de unidades de fijación por aparato según el catálogo incluido en el anexo 5 catálogos.

⁴⁵ (Rodríguez Díaz, 2005)

⁴⁶ (ICONTEC, 2017)

Tabla 21. Modelo de válvula Water Hammer Arrestor Watts (WATTS, 2011)

| Diámetro (pulg.) | Modelo | Unidades de fijación |
|------------------|--------|----------------------|
| 1/2" | 15M2-A | 1 - 11 |
| 3/4" | 15M2-B | 12 - 32 |
| 1" | 15M2-C | 33 - 60 |
| 1" | 15M2-D | 61 - 113 |
| 1" | 15M2-E | 114 - 154 |
| 1" | 15M2-F | 155 - 330 |

Fuente. (WATTS, 2011)

Tabla 22. Tamaño de las unidades de fijación según aparatos sanitarios (WATTS, 2011)

| Aparato sanitario | Tipo de control | UNIDADES DE FICACIÓN | | | | | |
|--------------------|-----------------|----------------------|-------|----------|---------|-------|----------|
| | | PÚBLICO | | | PRIVADO | | |
| | | TOTAL | FRÍA | CALIENTE | TOTAL | FRÍA | CALIENTE |
| Sanitario | Fluxómetro | 8 | 8 | - | 5 | 5 | - |
| Sanitario | Tanque | 5 | 5 | - | 2.5 | 2.5 | - |
| Orinal de pedestal | Fluxómetro | 4 | 4 | - | - | - | - |
| Lavamanos | Grifo | 2 | 1 1/2 | 1 1/2 | 1 | 1 | 1 |
| Bañera | Grifo | 4 | 2 | 3 | 2 | 1 1/2 | 1 1/2 |
| Ducha | Grifo | 4 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 |

Fuente. (WATTS, 2011)

3.7.3.2 Ruta crítica. Se crea para el cálculo hidráulico; ésta debe ir desde el aparato sanitario que requiera mayor presión y esté más alejado del cuarto de bombas, hasta el cuarto de bombas.

Se debe ir colocando un nodo en cada tee que haya en el recorrido de la ruta crítica.

3.7.3.3 Estimación de caudales. Se utiliza el método de hunter modificado (Icontec 1500)⁴⁷.

“Opera con gastos normales o promedios para los diferentes aparatos sanitarios, sin llegar a los gastos máximos del método de Hunter original”⁴⁸.

El método da unidades de consumo a cada aparato, la cual es acumulativa en los nodos de la ruta crítica, y representan un caudal o consumo del sistema.

⁴⁷ (ICONTEC, 2017)

⁴⁸ (Rodríguez Díaz, 2005)

Si el sistema tiene válvulas de fluxómetro, se debe escoger la demanda para sistema de suministro principalmente para fluxómetro, de lo contrario se debe usar la demanda para sistema de suministro principalmente para sanitarios de tanque.

Tabla 23. Tabla parcial unidades de consumo (ICONTEC, 2017)

| Aparato | Uso | Tipo de control de suministro | Valores de carga en unidades | | |
|--------------------|---------------|-----------------------------------|------------------------------|----------|-------|
| | | | Fría | Caliente | Total |
| Inodoro | Público | Válvula fluxómetro | 10 | - | 10 |
| Orinal | Público | Válvula de fluxómetro 3/4 pulgada | 5 | - | 5 |
| Poceta de servicio | Oficinas, etc | Grifo | 2.25 | 2.25 | 3 |

Fuente. (ICONTEC, 2017)

Tabla 24. Tabla para la estimación de demanda sistema para sanitarios de fluxómetro (ICONTEC, 2017)

| Sistema de suministro principalmente para sanitarios de fluxómetro | | | |
|--|---------|---|---------|
| Carga | Demanda | Carga | Demanda |
| Unidad de aparato de suministro de agua | L/min | Unidad de aparato de suministro de agua | L/min |
| 5 | 56.8 | 100 | 255.5 |
| 6 | 65.8 | 120 | 276.3 |
| 7 | 74.9 | 140 | 291.4 |
| 8 | 84 | 160 | 306.6 |
| 9 | 93.1 | 180 | 323.6 |
| 10 | 102.2 | 200 | 340.6 |
| 11 | 105.2 | 225 | 361.5 |
| 12 | 108.2 | 250 | 382.3 |
| 13 | 111.3 | 275 | 395.5 |
| 14 | 114.3 | 300 | 408.08 |
| 15 | 117.3 | 400 | 480.7 |
| 16 | 120.4 | 500 | 541.2 |
| 17 | 123.4 | 750 | 670 |
| 18 | 126.4 | 1000 | 787.3 |
| 19 | 129.4 | 1250 | 904.6 |
| 20 | 132.5 | 1500 | 1018.1 |
| 25 | 143.8 | 1750 | 1124.1 |
| 30 | 159 | 2000 | 1230.1 |
| 35 | 166.5 | 2500 | 1438.3 |
| 40 | 174.1 | 3000 | 1638.9 |
| 45 | 181.7 | 4000 | 1987.1 |
| 50 | 189.2 | 5000 | 2244.5 |

Fuente. (ICONTEC, 2017)

Tabla 25. Tabla para la estimación de demanda sistema para sanitarios de tanque (ICONTEC, 2017)

| Sistema de suministro principalmente para sanitarios de tanque | | | |
|--|------------------|---|------------------|
| Carga Unidad de aparato de suministro de agua | Demanda L/min | Carga Unidad de aparato de suministro de agua | Demanda L/min |
| 1 | 11.3 | 60 | 121.1 |
| 2 | 18.9 | 70 | 132.5 |
| 3 | 24.6 | 80 | 143.8 |
| 4 | 30.3 | 90 | 155.2 |
| 5 | 35.6 | 100 | 164.6 |
| 6 | 40.5 | 120 | 181.7 |
| 7 | 44.7 | 140 | 198.7 |
| 8 | 48.4 | 160 | 215.7 |
| 9 | 51.8 | 180 | 230.9 |
| 10 | 55.3 | 200 | 246 |
| 11 | 58.3 | 225 | 264.9 |
| 12 | 60.6 | 250 | 283.8 |
| 13 | 62.4 | 275 | 302.8 |
| 14 | 64.3 | 300 | 321.17 |
| 15 | 66.2 | 400 | 397.4 |
| 16 | 68.13 | 500 | 469.3 |
| 17 | 69.6 | 750 | 643.4 |
| 18 | 71.1 | 1000 | 787.3 |
| 19 | 72.7 | 1250 | 904.6 |
| 20 | 74.2 | 1500 | 1018.1 |
| 25 | 81.4 | 1750 | 1124.1 |
| 30 | 88.2 | 2000 | 1230.1 |
| 35 | 94.2 | 2500 | 1438.3 |
| 40 | 99.5 | 3000 | 1638.9 |
| 45 | 104.8 | 4000 | 2024.9 |
| 50 | 110.1 | 5000 | 2244.5 |

Fuente. (ICONTEC, 2017)

3.7.3.4 Diámetro. Los puntos hidráulicos de los aparatos sanitarios, deben tener el diámetro especificado por los fabricantes en las fichas técnicas. En el anexo 5 catálogos se encuentran las fichas técnicas de los aparatos sanitarios utilizados en el ejemplo.

Según Rodríguez⁴⁹ Las tuberías deben tener un diámetro el cual no exceda una velocidad máxima de 2 m/s para diámetros hasta de 3 pulgadas, y 2.5 m/s o un poco más sin que se superen los 3.0 m/s para diámetros mayores a 3 pulgadas.

⁴⁹ (Rodríguez Díaz, 2005)

Para el cálculo de la velocidad se utiliza la ecuación de continuidad. **Ecuación 7.**

Aunque sólo se calcula la tubería en la ruta crítica, todas las tuberías deben contar con diámetros en los planos, para lo cual se formula la siguiente tabla a partir de las unidades de consumo y la velocidad.

El material proyectado en el cuarto de bombas es acero inoxidable, y fuera del cuarto de bombas PVC.P, los diámetros internos de las tuberías con estos materiales se encuentran en la **Tabla 17**, y en la **Tabla 26**.

Tabla 26. Diámetros internos tubería de acero inoxidable

| DIÁMETRO NOMINAL (Pulg.) | Diámetro interno (mm) |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 1/2 | 16.98 |
| 3/4 | 20.93 |
| 1 | 26.64 |
| 1 1/4 | 35.04 |
| 1 1/2 | 40.9 |
| 2 | 52.51 |
| 2 1/2 | 62.71 |
| 3 | 77.92 |
| 4 | 102.26 |
| 6 | 154.06 |

Fuente. (ACINESGON)

Tabla 27. Diámetros para tuberías de PVC.P unidades con sistema principalmente para fluxómetro

| Unidades | Q máximo (l/s) | Diámetro (pulg) | Velocidad máxima (m/s) |
|-----------|-------------------|--------------------|------------------------------|
| 1-7 | 0.95 | 1 | 1.96 |
| 8-23 | 2.32 | 1 1/4 | 2 |
| 24-44 | 3 | 1 1/2 | 2 |
| 45-125 | 4.67 | 2 | 2 |
| 126-305 | 6.87 | 2 1/2 | 2 |
| 306-635 | 10.18 | 3 | 2 |
| 636-2100 | 21.2 | 4 | 2.52 |
| 2101-5000 | 37.41 | 6 | 2.06 |

Fuente. Los Autores

Tabla 28. Diámetros para tuberías de PVC.P unidades con sistema principalmente para sanitarios de tanque

| Unidades | Q máximo (L/s) | Diámetro (pulg) | Velocidad máxima (m/s) |
|-----------|----------------|-----------------|------------------------|
| 0.5-3 | 0.41 | 1/2 | 1.89 |
| 4-7 | 0.75 | 3/4 | 1.99 |
| 8-21 | 1.26 | 1 | 1.98 |
| 22-76 | 2.32 | 1 1/4 | 2 |
| 77-115 | 2.99 | 1 1/2 | 2 |
| 116-246 | 4.68 | 2 | 2 |
| 247-420 | 6.86 | 2 1/2 | 2 |
| 421-703 | 10.18 | 3 | 2 |
| 704-2100 | 21.06 | 4 | 2.52 |
| 2101-5000 | 37.41 | 6 | 2.06 |

Fuente. Los Autores

3.7.3.5 Presiones. Se debe diseñar de tal manera que bajo las condiciones de demanda pico se abastezca a los aparatos sanitarios con presión no menor a la que específica la NTC 1500, “para aparatos sanitarios que no aparezcan especificados, se debe consultar la presión mínima en los catálogos de los fabricantes”⁵⁰.

Se debe hallar la presión que requiere el sistema para que el aparato sanitario más alejado al equipo de bombeo tenga la presión requerida.

El cálculo se hace sólo en la ruta crítica ya que, al garantizar la presión mínima en el punto más alejado al cuarto de bombas, se garantiza que los puntos más cercanos van a tener por lo menos la presión mínima requerida.

“Cuando la presión estática dentro de la red de distribución exceda los 80 PSI, se debe instalar una válvula reductora de presión, para reducir la presión estática del sistema de distribución de la edificación a 80 PSI o menos”⁵¹.

Para el cálculo de presiones se utiliza la ecuación de energía.

Ecuación 20. Ecuación de energía.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum Pérdidas_{1-2}$$

⁵⁰ (ICONTEC, 2017)

⁵¹ (ICONTEC, 2017)

Donde:

- z : Altura con respecto a un nivel de referencia.
 $\frac{P}{\gamma}$: Presión en el eje del tubo.
 V : Velocidad media en la sección transversal.
 g : Aceleración gravitacional.
 $\sum \text{Pérdidas}$: Sumatoria de las pérdidas de energía producidas por fricción y localizadas.

Las pérdidas por fricción y pérdidas localizadas se calculan utilizando la

Ecuación 9 y la **Ecuación 12** respectivamente.

Tabla 29. Criterios de diseño del sistema de distribución de agua capacidad requerida en la tubería de salida para el suministro al aparato

| Tipos de aparatos hidrosanitario | Caudal L/min /gpm) | Presión de flujo kPa (psi) |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Bañera, válvula mezcladora balance de presión, termostática, o de combinación balance de presión de presión/ termostática | 15 (4) | 138 (20) |
| Bidé, válvula de mezclado termostática | 8 (2) | 138 (20) |
| Accesorio de combinación | 15(4) | 55 (8) |
| Lavavajillas doméstico | 10 (2.75) | 55 (8) |
| Bebedero | 3 (0.75) | 55 (8) |
| Lavadero | 15 (4) | 55 (8) |
| Lavamanos | 8 (2) | 55 (8) |
| Ducha | 11 (3) | 55 (8) |
| Ducha, con válvula de mezclado de presión balanceada, termostática combinada de presión balanceada/terostática | 11 (3) | 138 (20) |
| Grifería de manguera | 19 (5) | 55 (8) |
| Poceta residencial | 9 (2.5) | 55 (8) |
| Poceta de servicio | 11 (3) | 55 (8) |
| Orinal de válvula | 45 (12) | 172 (25) |
| Inodoro de desboque o arrastre con válvula fluxómetro | 95 (25) | 310 (45) |
| Inodoro, tanque fluxómetro | 6 (1.6) | 138 (20) |
| Inodoro, sifonico, válvula de fluxómetro | 95 (25) | 241 (35) |
| Inodoro, tanque cierre acoplado | 11 (3) | 138 (20) |
| Inodoro, tanque una pieza | 23 (6) | 138 (20) |

Fuente. (ICONTEC, 2017)

3.7.3.6 Equipo de bombeo. Se utiliza para proporcionarle energía al fluido, y con esta lograr que llegue a los aparatos con la presión y caudal requeridos, venciendo las pérdidas por fricción, accesorios y gravedad.

Según López⁵² Se pueden diferenciar tres grandes rasgos.

- 1) La tubería de succión y sus accesorios: debe tener una válvula de pie con coladera, la cual consiste en una válvula de cheque con una malla que impide la entrada de cuerpos extraños que puedan dañar la bomba.
El diámetro de la tubería de succión nunca debe ser inferior al diámetro de la tubería de descarga ni inferior al orificio de entrada de la bomba, se recomienda utilizar el diámetro comercial inmediatamente superior al de la tubería de descarga.

Se recomienda una velocidad del agua en la tubería de succión comprendida entre 0.6 y 0.9 m/s, se debe procurar diseñar esta tubería lo más recta y con menos accesorios posible.

Si el diámetro de la tubería de succión es mayor al diámetro del orificio de entrada de la bomba, se debe colocar una reducción excéntrica para evitar cavitación.

- 2) La bomba: Se debe instalar bombas las cuales tengan curvas que cumplan con la altura dinámica total y el caudal requerido del diseño.
La altura dinámica total se calcula con la ecuación de Bernoulli **Ecuación 20**. El libro elementos de diseño para acueductos y alcantarillados recomienda calcular la altura dinámica total sumando a la altura estática total, con las pérdidas en la succión, pérdidas en la impulsión, y altura de velocidad en la descarga.

Ecuación 21. Altura dinámica total

$$ADT = AET + H_s + H_I + \frac{V_d^2}{2g}$$

Donde:

ADT : Altura dinámica total en m.

AET : Altura estática total en m.

H_s : Pérdidas en la succión en m.

H_I : Pérdidas en la impulsión en m.

$\frac{V_d^2}{2g}$: Altura de velocidad en la descarga en m.c.a.

Ecuación 22. Altura estática total

$$AET = AES + AEI$$

Donde:

⁵² (López Cualla, 2003)

AET: Altura estática total en m.c.a.
AES: Altura estática de succión en m.c.a.
AEI: Altura estática de impulsión en m.c.a.

Se deben calcular las pérdidas por fricción y por accesorios en la succión con la

Ecuación 9 y Ecuación 12 respectivamente.

Se debe calcular las pérdidas por fricción y por accesorios en la descarga con la

Ecuación 9 y Ecuación 12 respectivamente.

La altura de la velocidad en la descarga se calcula con la siguiente ecuación.

Para facilitar la búsqueda de una bomba adecuada se debe calcular la potencia aproximada.

Ecuación 23. Potencia de la bomba

$$P = \frac{Q * \gamma * ADT}{76 * n}$$

Donde:

P: Potencia en hp.
Q: Caudal en L/s.
γ: Peso específico del agua en T/m³
ADT: Altura dinámica total en m.c.a.
n: Eficiencia de la bomba adimensional.

“Se recomienda trabajar con valores de eficiencia mayores al 60%”⁵³.

Para el ejemplo se utilizó una eficiencia del 70%.

“El fenómeno de cavitación en las bombas se presenta cuando la presión en la succión está cercana a la presión de vapor del fluido”⁵⁴. Para evitarlo se debe calcular el NPSH disponible, y este debe ser mayor al NPSH requerido por la bomba a instalar.

Ecuación 24. NPSH Disponible

⁵³ (López Cualla, 2003)

⁵⁴ (López Cualla, 2003)

$$NPSH_d = \left(A_b - AES + H_s + \frac{V_s^2}{2g} \right) - P_{vapor}$$

Donde:

| | |
|----------------------|---|
| $NPSH_d$: | Cabeza neta de succión positiva en m.c.a. |
| A_b : | Altura barométrica en m.c.a. |
| AES : | Altura estática de succión en m.c.a. |
| H_s : | Pérdidas en la succión en m.c.a. |
| $\frac{V_s^2}{2g}$: | Altura de velocidad en la succión en m.c.a. |
| P_{vapor} : | Presión de vapor en m.c.a. |

La altura barométrica equivale a 10.33 m.c.a. a nivel del mar. “Este valor se debe corregir teniendo en cuenta el nivel del mar a razón de 1.2m por cada 1000m de nivel”⁵⁵.

“Para una temperatura de 15°C se tiene una presión de vapor de 0.18m”⁵⁶

En el ejemplo se requiere una bomba con una altura dinámica total de 17.79m, caudal de 8.75 L/s, y potencia aproximada de 3 H.P.

Se anexa la curva de la bomba que cumple con estas características en el anexo 5 catálogos.

- 3) La tubería de descarga y sus respectivos accesorios: Es la tubería encargada de llevar el fluido a los aparatos sanitarios, en el cuarto de bombas debe llevar válvulas de cheque, para permitir el paso del agua en la dirección del bombeo y evitar el flujo inverso, válvulas de compuerta para facilitar trabajos de reparación y limpieza de la válvula de cheque, y uniones flexibles para evitar el desgaste mecánico de las tuberías por la vibración.

Se debe instalar un tanque hidroacumulador para evitar el continuo arranque de la bomba, y controlar la presión cuando se solicita caudales pequeños.

Para el cálculo del tanque hidroacumulador se sigue la metodología planteada en el libro Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones, la cual consiste en.

En caso de instalar un equipo convencional, se calcula el tanque hidroacumulador, para eso se requieren de los datos:

Potencia = 40% de la potencia de la bomba.

Q= 40% del caudal en el sistema.

⁵⁵ (López Cualla, 2003)

⁵⁶ (López Cualla, 2003)

Rango de presiones= Cabeza dinámica total en PSI, varía en 20 PSI entre P_a y P_b .

El valor T se asocia con la potencia de las bombas que se van a utilizar en el equipo hidroneumático.

Tabla 30. Tiempo Hidroacumulador según potencia de la bomba

| POTENCIA (H.P.) | T (min) |
|-----------------|---------|
| 1 - 3 | 1.2 |
| 3 - 5 | 1.8 |
| 5 - 7.5 | 2 |
| 7.5 - 15 | 3 |
| 15 - 30 | 4 |
| más de 30 | 6 |

Fuente. (Rodríguez Díaz, 2005)

Ecuación 25. Caudal de diseño tanque hidroacumulador

$$Q_m = Q_T * 65\%$$

Ecuación 26. Velocidad de regulación.

$$V_R = Q_m * \frac{T}{4}$$

Ecuación 27. Volumen de tanque hidroacumulador

$$V_T = \frac{V_R * P_b + 14.7 PSI}{P_b - P_a}$$

Donde:

- Q_T : Caudal total de bombeo en L/s.
- Q_m : Caudal de diseño tanque en L/s.
- P_b : Rango final de presiones en L/s.
- P_a : Rango inicial de presiones en L/s.
- T : Tiempo de regulación en segundos.
- V_R : Volumen de regulación en L.
- V_T : Volumen del tanque en L.

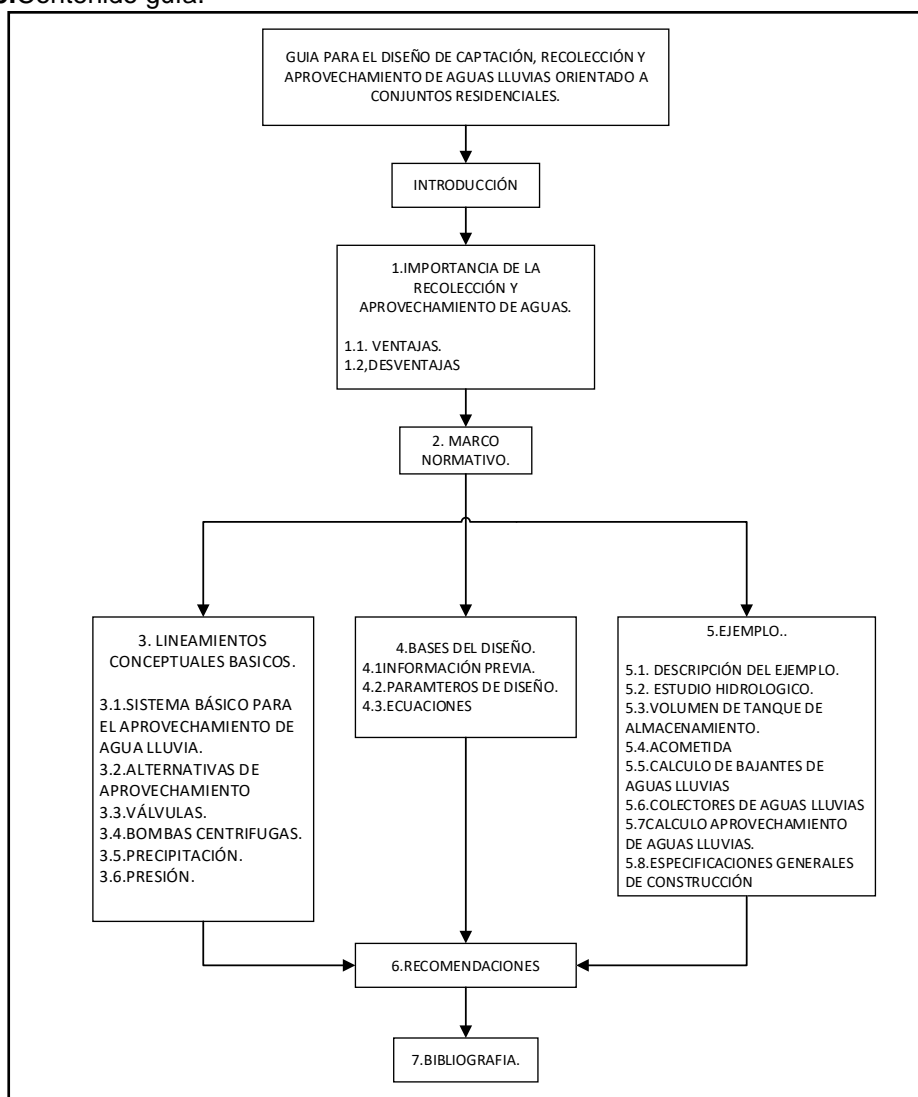
4. RESULTADOS

Con base en la metodología desarrollada, se realiza la guía para el diseño de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias orientado a conjuntos residenciales, con un ejemplo de diseño, memoria de cálculo y planos. La metodología fue elaborada de acuerdo a el análisis de la bibliografía.

La guía busca de forma detallada explicar conceptos, parámetros, cálculos y recomendaciones necesarias para el diseño de un sistema de este tipo, fundamentada en las normas vigentes y teorías establecidas.

Se presenta como anexo, el cual está dividida en capítulos y subcapítulos, la tabla de contenido de la guía se conforma de los siguiente numerales:

Figura 9.Contenido guía.



Fuente. Los Autores

Se desarrolló un software para el predimensionamiento del tanque de aguas lluvias como segundo resultado el cual permite calcular el volumen del tanque de aguas lluvias necesario para el desarrollo de un proyecto de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias, de manera rápida y sencilla.

5. CONCLUSIONES

- Al analizar la bibliografía se evidencia la importancia de implementar un diseño de captación, recolección y aprovechamiento en conjuntos residenciales, ya que el incremento de este tipo de proyectos a nivel nacional es cada vez mayor. Al realizar un diseño de captación, recolección y aprovechamiento de aguas lluvias se generan impactos positivos socioeconómicos y ambientales pues el agua captada puede aprovecharse en diferentes usos como, descarga de aparatos sanitarios, lavado de piso o riego.
- La guía se proyecta para el diseño de sistemas de captación recolección y aprovechamiento de aguas lluvias orientado a conjuntos residenciales, explicada de forma clara.
- Se desarrolla un software realizado en Visual Basic, el cual proyecta el volumen de tanque de almacenamiento, agregando datos de entrada a partir de los estudios hidrológicos, y dotación, con el fin facilitar al usuario su cálculo.
- Se cumple con los objetivos planteados, evidenciados en la guía, el ejemplo y el software desarrollado.
- Se encuentra anexos los planos de diseño realizados en Revit, memorias de cálculo, catálogos de fabricantes y cantidades de obra. Documentos que son importantes para cualquier diseño, complementando lo teórico con lo práctico.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdulla, F., & Al-Shareef, A. (2006). *ASSESSMENT OF RAINWATER ROOF HARVESTING SYSTEMS FOR HOUSEHOLD WATER SUPPLY IN JORDAN*. SPRINGER.
- ACINESGON. (s.f.). *Catalogo de productos*.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (25 de FEBRERO de 2020). *SINUPOTP*. Obtenido de sinupotp.sdp.gov.co/sinupot/index.jsf
- Ballen Suárez, J. A., Galarza García, M. Á., & Ortiz Mosquera, R. O. (2006). *HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua*, 12.
- Carmona, G., & Bojalil, J. A. (2008). *MANUAL DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIA PARA CENTROS URBANOS*. PNUMA.
- Castañeda, N. P. (2010). *PROPUESTA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA LLUVIA, COMO ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE AGUA POTABLE, EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA AUXILIADORA DE CALDAS, ANTIOQUIA*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2004). *GUÍA DE DISEÑO PARA CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA*. Lima: Organización panamericana de la salud.
- Chereque Morán, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- CONGRESO DE COLOMBIA. (1997). *LEY 373 DE 1997*. Bogotá: Congreso de la republica.
- Correa Assmus, G. (2015). Laudato Si' y la cuestión del agua en Colombia. *Revista de la Universidad de La Salle*, 216.
- Díaz Pulido, A. P., Hernández, N. C., Muñoz Moreno, D. P., Olaya Gonzáles, W. R., Castro, C., Sánchez Ojeda, F., & Sánchez Gonzalez, K. (2009). Desarrollo sostenible y el agua como derecho en Colombia. *Revista Estudios Socio-Jurídicos*, 84-116.
- EAAB. (2017). *Norma técnica NS-031 Estudios de población y demanda de agua en sectores específicos de la ciudad*. Bogotá: EAAB.
- EL TIEMPO. (17 de 8 de 2018). *EL TIEMPO*. (G. E. Flórez G., Editor) Recuperado el 01 de 11 de 2020, de <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/mas-conjuntos-residenciales-en-colombia-donde-la-convivencia-es-una-necesidad-257136>
- Google. (s.f.). *Google Earth*. Recuperado el 2012 de 09 de 03, de <https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r>
- Granados Robayo, J. A. (2002). *REDES HIDRÁULICAS Y SANITARIAS EN EDIFICIOS*. (U. N. Colombia, Ed.) Bogotá, Colombia: UNIBIBLOS. Recuperado el 05 de 03 de 2020
- GRUNDFOS. (s.f.). *The Centrifugal Pump*. Dinamarca: GRUNDFOS.

- GRUPO SAYROS. (14 de Marzo de 2020). *GRUPO SAYROS*. Obtenido de
CONSTRUYE CON TECNOLOGÍA:
<http://www.gruposayros.com/certificacion-leed/>
- GUERRERO, M., & SCHIFTER, I. (2012). *La huella del agua*. Mexico.D.F.:
Fondo de cultura económica.
- Gurovich, L. (1985). *FUNDAMENTOS Y DISEÑOS DE SISTEMAS DE RIEGO*.
San José: Centro Interamericano de Documentación e Información
Agrícola CIDIA.
- Holzner, S. (1998). *Visual Basic 6 Black Book*. The Coriolis Group.
- ICONTEC. (2004). *Código Colombiano de Fontanería - Norma Técnica
Colombiana NTC 1500*. Bogotá: ICONTEC.
- ICONTEC. (2017). *CÓDIGO COLOMBIANO DE INSTALACIONES
HIDRÁULICAS Y SANITARIAS, NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC
1500*. Bogotá: ICONTEC.
- IDEAM. (16 de Marzo de 2020). *SIAC*. Obtenido de
<http://www.siac.gov.co/demandaagua>
- J. Karassik, I., P. Messina, J., Cooper, P., & C. Heald, C. (2001). *PUMP
HANDBOOK* (Third Edition ed.). New York: McGRAW-HILL.
- Juárez , M. (2020). *Colombia: Premían Proyecto "cosecha de Agua lluvia"*.
Bermejo: Servindi.
- LA CASA ROMANA . (14 de Marzo de 2020). *LA CASA ROMANA*. Obtenido de
Introdúcete en el mundo doméstico durante la época romana:
<https://casarompruebaticum.wordpress.com/la-domus/>
- López Cualla, R. A. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y
alcantarillados* (Segunda ed.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Meadows, M. E., Walski, T. M., Barnard, T. E., & Rocky, S. (2002). *Computer
Applications in Hydraulic Engineering* (5 ed.). Watertown: Haestad
Methods INC.
- MILITARY HYDROLOGY R & D BRANCH; U.S. ARMY ENGINEER DISTRICT,
WASHINGTON. (1957). *HANDBOOK OF HYDRAULICS*. Washington:
MILITARY HYDROLOGY R & D BRANCH.
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2012). *Criterios ambientales para
el diseño y construcción de vivienda urbana*. Bogotá: MADS.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). *Resolución número 0330*.
Bogotá.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2010). *Reglamento Técnico del
sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS - Título B Sistemas
de Acueducto*. Bogotá: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2016). *Reglamento técnico del sector
de agua potable y saneamiento básico - RAS- Título D .* Bogotá: Ministerio
de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Monsalve Sáenz, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Bogotá: EDITORIAL
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA
AGRICULTURA. (2013). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA
DE LLUVIA*. Santiago: FAO.
- PAVCO. (2020). *Manual técnico Tubosistemas sanitaria*. Bogotá D.C.

- PAVCO WAVIN. (2020). *Manual técnico Tubosistemas para alcantarillado NOVAFORT NOVALOC*. Bogotá D.C.
- PAVCO WAVIN. (2020). *Manual Técnico Tubosistemas Presión*. Bogotá D.C.
- PAVCO WAVIN. (25 de Febrero de 2020). *Pavco Wavin Colombia*. Obtenido de <https://pavcowavin.com.co/>
- Pérez Carmona, R. (2019). *INSTALACIONES HIDROSANITARIAS, DE GAS Y DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS EN EDIFICACIONES* (Octava ed.). Bogotá D.C., Colombia: ECOE EDICIONES.
- Revista Semana. (14 de Marzo de 2020). *Semana SOSTENIBLE*. Obtenido de 'El cubo' obtuvo la Certificación LEED alcanzando el nivel Gold: https://sostenibilidad.semana.com/multimedia/galeria/el-cubo-obtuvo-certificacion-leed-alcanzando-nivel-gold/29474?fbclid=IwAR3rThlOVdxxmxl9J52aEinevIRDHA0xgjNS9EJD0hv29GI6P3_K-Vtpspk
- Rodríguez Díaz, H. A. (2005). *DISEÑOS HIDRÁULICOS, SANITARIOS Y DE GAS EN EDIFICACIONES*. Bogotá: EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA.
- Saldarriaga Valderrama, J. G. (2019). *HIDRÁULICA DE TUBERÍAS*. Bogotá: Alfaomega.
- Secretaría de Planeación. (25 de Febrero de 2020). *ESTRATIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA URBANA LOCALIDAD N°4 - SAN CRISTOBAL DECRETO 394 DE JULIO 28 DE 2017*. Bogotá, San Cristobal, Colombia.
- Servicio Geológico de los Estados Unidos. (05 de 03 de 2020). Obtenido de USGS: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html>
- Stern, F. (2006). *Fluid Mechanics Class Notes*. Iowa City: College of Engineering, The University of Iowa.
- Te Chow, V., MAIDMENT, D. R., & MAYS, L. W. (1988). *APPLIED HYDROLOGY*. McGraw-Hill.
- Texas Water Development Board. (2005). *The Texas Manual On Rainwater Harvesting*. Austin: Texas Water Development Board.
- Vargas M., R., & Diaz-Granados O., M. A. (1998). *CURVAS SINTÉTICAS REGIONALIZADAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA PARA COLOMBIA*. Bogotá: Revista de Ingeniería Uniandes.
- Vermeiren, I., & Jobling, G. A. (1980). *Localized irrigation : design, installation, operation, evaluation*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- WATTS. (2011). *Series 15m2 Water Hammer Arrestors*.
- Westaway, C. R., & Loomis, A. W. (1984). *CAMERON HYDRAULIC DATA*. Woodcliff Lake: INGERSOLL-RAND.

ANEXOS

ANEXO 1 GUÍA PARA EL DISEÑO DE CAPTACION, RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS ORIENTADO A CONJUNTOS RESIDENCIALES

[IR A CARPETA DEL ANEXO](#)

[IR A GUÍA PARA EL DISEÑO DE CAPTACION, RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS ORIENTADO A CONJUNTOS RESIDENCIALES](#)

ANEXO 2 MODELO GRÁFICO

[IR A CARPETA DEL ANEXO](#)

[IR A CUARTO DE BOMBAS](#)

[IR A DETALLES](#)

[IR A PORTERÍA](#)

[IR A REDES GENERALES](#)

[IR A SALÓN COMUNAL](#)

[IR A TORRE TIPO A](#)

[IR A TORRE TIPO B SALIDAS HACIA ATRÁS](#)

[IR A TORRE TIPO B SALIDAS HACIA EL FRENTE](#)

ANEXO 3 MEMORIA DE CÁLCULO

[IR A CARPETA DEL ANEXO](#)

[IR A MEMORIA DE CÁLCULO PDF](#)

[IR A MEMORIA DE CÁLCULO .XLSM](#)

ANEXO 4 PLANOS DE DISEÑO

[IR A CARPETA DEL ANEXO](#)

[IR AL LISTADO DE PLANOS](#)

[IR A PLANO H 1](#)

[IR A PLANO H 2](#)

[IR A PLANO H 3](#)

[IR A PLANO H 4](#)

[IR A PLANO H 5](#)

[IR A PLANO H 6](#)

[IR A PLANO H 7](#)

[IR A PLANO H 8](#)

[IR A PLANO H 9](#)

[IR A PLANO H 10](#)

[IR A PLANO H 11](#)

[IR A PLANO H 12](#)

[IR A PLANO H 13](#)

[IR A PLANO H 14](#)

[IR A PLANO H 15](#)

ANEXO 5 CATÁLOGOS

[IR A LA CARPETA DEL ANEXO](#)

[IR A MEDIDOR TIPO GAMMA – RP - SDC](#)

[IR A CATÁLOGO ORINAL](#)

[IR A CATÁLOGO SANITARIO DE FLUXÓMETRO](#)

[IR A CATÁLOGO FILTRO TIPO GRAF OPTIMAX-XXL](#)

[IR A CATÁLOGO VÁLVULA WATER HAMMER ARRESTOR WATTS](#)

[IR A CURVA BOMBA CENTRÍFUGA GRUNDFOS NGB 80-50-200/191](#)

ANEXO 6 SOFTWARE

[IR A LA CARPETA DEL ANEXO](#)

[IR AL SOFTWARE](#)

[IR A MANUAL DEL SOFTWARE](#)